ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 25 JUIN 1917.

PRÉSIDENCE DE M. A. D'ARSONVAL.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts** adresse ampliation du décret qui porte approbation de l'élection que l'Académie a faite de M. le général *R. Bourgeois* pour occuper, dans la Section de Géographie et Navigation, la place vacante par le décès de M. *Hatt*.

Il est donné lecture de ce Décret.

Sur l'invitation de M. le Président, M. le général **R. Bourgeois** prend place parmi ses confrères.

PÉTROLOGIE. — *Sur la transformation de quelques roches éruptives basiques en amphibolites*. Note de M. **A. Lacroix**.

La plupart des auteurs qui ont discuté l'origine des schistes cristallins se sont efforcé de démontrer l'unité de cette origine en s'appuyant d'ordinaire sur des observations faites dans des régions limitées, observations auxquelles était attribué un caractère de grande généralité.

Les recherches que j'ai poursuivies pendant de nombreuses années dans des régions très variées et fort éloignées les unes des autres me font incliner au contraire vers une solution éclectique de cette difficile question.

Mes études sur les contacts des granites des Pyrénées en particulier ont apporté un argument en faveur de la théorie métamorphique proposée par Michel-Lévy; mais, s'il me paraît certain que cette théorie permet d'expliquer un grand nombre de cas, on ne saurait la considérer comme générale.

Je me propose de mettre en évidence quelques exemples de production

de schistes cristallins *par transformation paramorphique* de roches éruptives préexistantes, c'est-à-dire par transformation moléculaire effectuée sans changement notable de composition chimique; les roches qui vont être étudiées sont donc des *orthogneiss*, dans le sens que Rosenbusch a donné à ce terme. Avant de discuter les causes du phénomène, il semble nécessaire d'apporter tout d'abord des preuves de sa réalité; c'est ce point de vue seulement que j'envisagerai pour l'instant.

Une démonstration de ce genre, pour être rigoureuse, doit s'appuyer à la fois sur des constatations géologiques et sur une étude comparative à la fois minéralogique et chimique. Il est nécessaire de trouver des gisements dans lesquels s'observe la roche originelle intacte présentant avec les formations géologiques avoisinantes des relations stratigraphiques nettes, de façon que son origine éruptive soit indiscutable; il faut ensuite suivre le passage de cette roche intacte au schiste cristallin, puis démontrer, à l'aide de l'analyse, que les deux termes extrêmes de la série, minéralogiquement différents, sont chimiquement identiques. On conçoit aisément qu'un tel ensemble de conditions soit rarement réalisé dans les régions très gneissifiées, où les transformations sont le plus généralement totales. Dans ce cas, l'étude minéralogique et chimique est seule possible, le problème se résume donc à comparer la composition du schiste cristallin avec celle de roches éruptives connues et de conclure, par analogie, à la communauté d'origine première quand la ressemblance chimique entre les deux roches est suffisamment étroite. Mais souvent des objections graves peuvent être faites à des conclusions de ce genre, à cause de l'existence de complications d'ordre varié sur lesquelles je ne veux pas insister pour l'instant. Je ferai remarquer seulement que les probabilités d'exactitude de l'interprétation sont d'autant plus grandes que le type pétrographique auquel appartenait la roche originelle était plus spécial; aussi est-ce à des roches de cette catégorie que j'aurai recours tout d'abord.

La présente Note a pour objet l'étude de trois cas, dans lesquels sont réunies les conditions optima pour la démonstration dont il s'agit.

I. M. Pisani a fait connaître jadis ([1]) l'existence à Arvieu (Aveyron) d'une roche à gros grain, riche en hypersthène, qui a été étudiée plus tard par M. J. Bergeron ([2]). D'après ce dernier, l'axe d'un anticlinal gneissique

---

([1]) *Comptes rendus*, t. 86, 1878, p. 1419.
([2]) *Ann. Soc. géol., Paris*, t. 22, n° 1, 1889, p. 282.

est jalonné par une traînée d'affleurements de serpentine; dans l'un d'eux, situé à Pentézac, au sud d'Arvieu, se trouve la roche en question; elle est séparée de la serpentine par une zone d'amphibolite que M. Bergeron a considérée comme une roche sédimentaire transformée.

La roche éruptive est essentiellement constituée par l'association de grandes plages de labrador et d'hypersthène (1^{cm} à 3^{cm}), à éclat bronzé, ce dernier minéral prédomine beaucoup sur le plagioclase et présente parfois des contours géométriques; localement et souvent sur les bords du filon, — car il s'agit là d'un filon semblable à ceux qui sont fréquents au milieu de tant de péridotites, — le feldspath se raréfie et la roche passe à une véritable *hypersthénite* contenant un peu de pyrrhotite.

Le microscope permet de voir que cette *norite* a été fort disloquée par des actions mécaniques; l'hypersthène est tordu, présente des macles secondaires; il est fissuré dans tous les sens, comme aussi les minéraux qui l'accompagnent; une structure cataclastique s'est développée entre leurs fragments. Toutefois, la structure générale originelle n'est nulle part masquée.

A ce premier stade de transformation purement structurel s'ajoutent fréquemment des modifications d'ordre minéralogique. En outre de transformations banales (d'origine atmosphérique) du plagioclase en damourite, on observe alors tous les stades d'une transformation de caractère saussuritique. Au contact du plagioclase et de l'hypersthène se développe de l'actinote verte qui cristallise aussi, avec un peu de zoisite, dans le feldspath lui-même. L'hypersthène se transforme progressivement en aiguilles jaunes d'anthophyllite, puis apparaissent des plages pœcilitiques de grenat rosé, puis de l'albite (maclée ou non) granoblastique. A travers les aiguilles d'anthophyllite diversement orientées, on distingue souvent encore les inclusions ferrugineuses caractéristiques de l'hypersthène, jalonnant la silhouette de ce pyroxène disparu. Dans d'autres cas, ces inclusions sont épigénisées par du rutile [1].

Ainsi de proche en proche, tous les éléments de la norite se transforment en un mélange d'amphiboles, rhombiques ou monocliniques, de grenat et d'albite; cette transformation s'effectue avec ou sans orientation des amphiboles.

Il y a quelque vingt ans, M. Gaubert, et plus récemment M. Arsandaux, ont visité ce gisement et ont bien voulu m'y recueillir un riche matériel

(1) Voir pour plus de détails ma *Minéralogie de la France*, t. 1, 1895, p. 557.

d'étude; ils ont constaté que cette amphibolite n'est pas localisée sur les bords du filon de norite, mais se rencontre aussi le long des diaclases qui le traversent en divers sens.

La démonstration du passage progressif du schiste cristallin à la roche éruptive est donc aussi complète que possible. Reste la question chimique.

Les trois analyses suivantes ont été effectuées par M. Raoult : 1. Hypersthénite [IV (V). (1)2.1.1.(1)2]; 2. Norite, type moyen (III'.'5.4'.4-5)]; 3. Amphibolite.

	1.	2.	3.
SiO^2	49,90	51,38	49,40
Al^2O^3	3,35	13,07	12,43
Fe^2O^3	7,23	4,46	5,86
FeO	8,15	6,17	6,17
MnO	0,18	0,16	0,22
MgO	26,64	17,31	18,22
CaO	3,10	5,56	5,50
Na^2O	0,40	1,06	1,04
K^2O	0,15	0,21	0,35
TiO^2	0,60	0,60	0,60
P^2O^5	tr.	tr.	tr.
H^2O à 105°	»	»	»
» au rouge	0,30	0,36	0,41
S	0,39	»	»
	100,39	100,34	100,20

La comparaison des analyses 2 et 3 montre que la composition de l'amphibolite est identique à celle de la norite. Les petites différences qu'on peut relever entre elles sont de l'ordre de celles qu'on rencontrerait en analysant deux fragments distincts de l'une ou l'autre de ces roches.

II. Au sud-ouest du massif volcanique de l'Ankaratra, à Madagascar, les micaschistes, les quartzites et les calcaires de la partie supérieure des schistes cristallins sont traversés par de nombreux dykes de roches éruptives basiques grenues; j'ai rencontré parmi celles-ci des gabbros, avec ou sans olivine ou hypersthène, et aussi des types mélanocrates ou même holomélanocrates, essentiellement ou exclusivement constitués par des pyroxènes, les uns rhombiques, les autres monocliniques. Ces roches sont pour la plupart des *webstérites*, feldspathiques ou non.

L'un de ces dykes se trouve à Tsaramanga, au nord du mont Tongafeno, entre la pegmatite exploitée pour son beau béryl d'un bleu spécial et un orthogneiss dérivant d'un granite. Tandis que les déformations dues à des actions mécaniques sont extrêmement intenses dans ce dernier et sautent

aux yeux, la webstérite ne présente pas à l'œil nu de déformation structurelle appréciable, mais une partie du dyke est transformée en une amphibolite très tenace, localement schisteuse, avec orientation parallèle à celle du gneiss voisin. La roche intacte est noire verdâtre, à grands éléments; des cristaux de bronzite, accompagnés de diallage et parfois enveloppés pœcilitiquement par une hornblende d'un brun clair, sont englobés, pœcilitiquement aussi, par de grandes plages de bytownite riches en inclusions ferrugineuses.

L'amphibolite est essentiellement constituée par une hornblende, d'un vert pâle, en grands cristaux criblés d'inclusions ferrugineuses aciculaires ou granuleuses. Çà et là se rencontre une autre amphibole plus claire, à macles polysynthétiques très fines; il existe un peu de titanomagnétite entourée par du sphène secondaire.

D'autre part, le mont Ankitsika, à l'extrémité nord-nord-ouest du lac Alaotra dans la partie septentrionale de Madagascar, est essentiellement constitué par une roche à très grands éléments dans laquelle on ne distingue à l'œil nu que du diallage à éclat bronzé. L'examen microscopique montre que ce pyroxène, riche en inclusions ferrugineuses violacées, est associé à un peu de titanomagnétite, d'apatite, d'hypersthène et de bytownite; quand celle-ci devient plus abondante, la *diallagite* passe à un gabbro mélanocrate.

La bordure de la diallagite d'Ankitsika, qui paraît intrusive au milieu des gneiss, est formée [1] par une amphibolite friable constituant aussi de nombreuses veinules au milieu de la roche éruptive. Cette amphibolite est essentiellement formée par une hornblende d'un vert très foncé; mais l'examen microscopique y décèle en outre un peu de diopside et de titanomagnétite cerclée de sphène.

Les analyses suivantes (par M. Boiteau) permettent de comparer la composition de la webstérite feldspathique [2] de Tsaramanga (1),

---

[1] Les roches de cette région sont très latéritisées, aussi n'est-il pas possible de délimiter exactement le massif éruptif; j'ai constaté qu'en de nombreux points il est traversé par des pegmatites exceptionnellement riches en biotite.

[2] J'ai fait analyser deux autres filons de cette région : 1. *Webstérite feldspathique* (andésitique) d'Ambohimasina (par M. Raoult) [IV.1'.1.'2.2]; 2. *Webstérite non feldspathique* de Tsahatsaha (par M. Pisani) [(IV)V.1.(1).2.1'].

	SiO^2.	Al^2O^3.	Fe^2O^3.	FeO.	MgO.	CaO.	Na^2O.	K^2O.	TiO^2.	P^2O^5.	H^2O à 105°.	H^2O au rouge.	
1......	53,48	6,47	2,74	8,76	16,23	6,97	1,50	0,97	1,20	0,58	0,09	0,79	= 99,78
2......	53,50	3,42	3,05	3,80	24,10	11,60	0,29	0,20	0,03	tr.	0,43		= 100,43

[IV.1'.1'.2.2] et celle de l'amphibolite résultant de sa transformation (2), puis de la diallagite feldspathique du mont Ankitsika (3), [IV.1.(1)2.2.2] et de l'amphibolite correspondante (4).

	1.	2.	3.	4.
SiO^2	48,93	49,12	48,40	47,36
Al^2O^3	8,79	6,51	8,66	7,05
Fe^2O^3	3,35	5,44	0,95	4,72
FeO	7,33	5,29	10,12	9,11
MgO	16,12	17,60	14,59	13,91
CaO	13,46	13,28	14,69	14,27
Na^2O	0,48	0,50	0,54	0,72
K^2O	0,20	0,16	0,14	0,14
TiO^2	0,59	0,59	1,60	1,89
P^2O^5	0,11	0,07	0,07	0,10
H^2O à 105°	0,14	0,18	0,13	0,10
» au rouge	0,79	1,08	0,31	0,51
	100,29	99,82	100,20	99,88

On voit que, comme à Arvieu, la transformation s'est effectuée sans changement notable de composition chimique, avec seulement ici suroxydation d'une partie de l'oxyde ferreux ([1]). Il est intéressant de constater que, dans ces deux exemples, les réarrangements moléculaires ont fait passer à l'état potentiel dans les amphiboles la petite quantité de plagioclase exprimée dans la roche éruptive. C'est là un fait extrêmement fréquent et qu'il est nécessaire de noter pour l'interprétation de tant d'amphibolites dépourvues de feldspath, bien qu'elles dérivent de roches éruptives originellement feldspathiques. La notion de feldspath potentiel est donc aussi importante pour l'étude des schistes cristallins que pour la comparaison des roches volcaniques et des roches intrusives de composition minéralogique différente, mais de composition chimique semblable.

([1]) M. Harris Teall a décrit une transformation du même ordre sur les bords du dyke de diabase de Scourie (Sutherlandshire, en Écosse) (*British Petrography*, p. 197), mais l'amphibolite y est feldspathique et quartzifère.

ASTRONOMIE. — *Sur les observations attribuées au prince Louis de Valois, et sur l'astronome Jacques Valois.* Note de M. G. **Bigourdan**.

En divers passages de ses *Annales célestes*, Pingré rapporte des observations (1) qu'il attribue au prince Louis de Valois ou à son jardinier Elzéar Féronce. Il y a là diverses confusions que des recherches faites dans quelques manuscrits m'ont permis de dissiper : en réalité Féronce n'était pas jardinier du prince et les observations sont d'un autre Valois, tout à fait oublié par les biographes.

Ce prince, Louis Emmanuel de Valois (1596-1663), petit-fils de Charles IX, porta les titres de comte d'Alais, puis de duc d'Angoulême, et fut gouverneur de Provence de 1637 à 1650. Protecteur des gens de lettres, il était particulièrement lié avec Gassendi, comme le montre la longue correspondance échangée entre eux (Gass., *Op.*, VI).

Les observations astronomiques attribuées à ce prince sont en réalité de *Jacques* Valois ou de Valois, dont la vie ne nous est guère connue que par sa correspondance (2) restée manuscrite, particulièrement celle qu'il échangea avec Boulliau, à raison d'une lettre chaque semaine.

Valois était un Écossais qui, en raison des faveurs accordées en France à ses compatriotes (3), était devenu Trésorier général de France à Grenoble; en outre il fut, à partir de 1620, intendant de Charles de Créqui, comte de Sault : celui-ci fut (1610) lieutenant général du Dauphiné, maréchal de France (1622), duc de Lesdiguières (1626) après la mort de son beau-père, le connétable de Lesdiguières, possesseur du château de Vizille.

Jacques de Valois naquit en mars 1582 et mourut à Grenoble le 3 décembre 1654; il connut Snellius et par ses conseils se livra aux observations, mais bien peu activement comme on va voir; il commença vers 1620.

---

(1) Voir pages 65 (1626), — 88 (1632), — 105 (1635), — 172 (1645).

(2) Bibl. nat., *Manuscrits*, f. français, n° 13030 et n° 13042 (f° 20-36). Beaucoup des lettres de Valois ne sont pas signées. Les premières portent la signature « de Valois ». Il écrit son prénom « Jaques ».

(3) En considération des services rendus par l'Écosse à la France, un édit de Louis XII avait dispensé tous les Écossais résidant en France de l'obligation de demander des lettres de naturalité, leur accordant en masse le droit de tester, de tenir des bénéfices, etc. Henri II renouvela leurs privilèges et, par lettres-patentes de 1558, leur accorda la faculté d'acquérir en France des biens meubles ou immeubles, comme s'ils étaient originairement nés Français.

Dès 1623, d'après Bougerel (p. 15), il était lié avec Gassendi qui, député à Grenoble par son chapitre pour soutenir un procès, vint le voir en 1624, et l'aurait fait revenir de ses préjugés en faveur de l'Astrologie; toutefois ce fut bien incomplètement, car, dans les dernières années de sa correspondance, Valois explique tout par les astres : sa goutte, ses palpitations de cœur, ses pertes d'argent ([1]).

D'après Pingré (*Ann. cél.*, p. 65), en 1626 il aurait aidé Féronce pour mesurer les distances de Saturne à Régulus et à l'Épi; et d'après une lettre de J. Gaultier à Peiresc (P. — C_2, IV, 41), il s'était préparé en 1631 pour chercher Mercure sur le Soleil, mais il en fut empêché par les nuages (Gassendi, *Op.*, IV, 185).

En 1635 il observa l'éclipse de Lune du 3 mars (Gass., *Op.*, IV, 263) et cette observation, dans laquelle il fut gêné par les nuages, est peut-être avec la précédente la seule de lui qui ait été publiée. Cependant il devait être déjà connu, car Morin (*Lettres*..., p. 11), peut-être pour les besoins de la cause, le tient pour un des « trois plus célèbres Astronomes que nous ayons en France ».

Duret lui attribue ([2]) des observations de Saturne et de Jupiter, faites à Vizille de 1622 à 1637, et d'où l'on aurait conclu des longitudes et latitudes de ces planètes. Il nous paraît absolument certain, après avoir par-

---

([1]) Voici, à titre d'exemple, les extraits de quelques-unes de ses lettres à Boulliau (F. fr., n° **13030**) :

Fol. 78, 1653 juin 25. — Le thème astrologique de M. de Créqui explique pourquoi il a été fait duc.

Fol. 140, 1654 janv. 11. — Ma main est « encore empeschee par la goutte qui me tient tousiours depuis que Mars est entré au Poisson. Il y a 7.8 ans que je ne manque jamais destre indispose des que le Soleil entre au Capricorne.... »

Fol. 148, 1654 févr. 15. — Valois a de nouveau la goutte « par l'☍ de ♄ au ☉ qui ne manquent jamais de se faire sentir.... » Mars intervient aussi..., « nonobstant l'opinion de Mr Gassendi contre l'Astrologie ».

Fol. 156, 1654 . — Au moment où il entre dans sa 73e année « le ciel ne semble pas estre trop contraire quoy que ☉.... »

Fol. 203, 1654 sept. 27. — Il a failli mourir deux fois depuis 8 jours. « Cette ♑ de ♄ et ♂ sur l'☍ de mon ascendant ma bien fait du mal. Le jour de la ☌ jeus une palpitation de cœur, mais le jour que ♂ passa par le degré de l'☍ de mon ♄ radical je demeuray comme mort d'assoupissement; il y eut de la peine à me faire revenir et je me reprins mon cerveau estant fort embarrassé. Et lorsque ♂ passa par le degré ☍ a mon ascendant je prins la serie de mes palpitations et especes de defaillances.... »

([2]) *Natal.* Durret, *Novæ motuum cœlestium Ephemerides Richelianæ*, Parisiis, 1641, dans l'épitre *ad lectorem*.

couru la correspondance de Valois, qu'il ne fut là qu'un intermédiaire, et que les observations furent faites réellement par Féronce.

Il observa aussi, mais bien médiocrement à ce qu'il semble, l'éclipse de Lune de 1652 mars 8 et celle de Soleil de 1654 ([1]) août 11, ainsi que la comète qui parut en décembre 1652. Il se plaint d'ailleurs vivement du ciel de Grenoble ([2]).

« Notre horizon est si malheureux pour les observations des éclipses qu'à grand-peine en ai-je vu une entière en cette ville en 40 ans que j'y suis; tousiours ou les nuées ou les montagnes nous cachent les luminaires. »

Outre quelques calculs ([3]) et des remarques sur les réfractions (*Lettres*..., p. 22), Valois a aussi fait des traductions de l'anglais, restées sans doute inédites, et divers petits travaux que l'on trouve à Carpentras dans les papiers de Peiresc ([4]). Celui-ci, en 1627 (P. — C_1, I, 384), le comparait ainsi à J. Gaultier : « Je crois bien que ledict Sr Valois ayant plus de loisir, plus de santé et plus de vigueur que l'autre, il pourra y vaquer [aux obser-

---

([1]) Cette éclipse fut observée à Erbeys, près de Grenoble, par le P. de Billy qui fut en relation de voisinage avec Valois de décembre 1653 à septembre 1654, époque où le P. de Billy alla à Dijon.

Jacques de BILLY (Compiègne, 1602 — Dijon, 14 janv. 1679), jésuite, professa les mathématiques et fut recteur des collèges de Châlons, Langres, Sens. Il est connu par plusieurs traités didactiques sur diverses parties des Mathématiques et sur la Chronologie. Pour l'Astronomie, il composa des Tables planétaires (*Tabulæ Lodoicæ*, 1656; — *Opus astronomicum*, 1661), deux Traités sur les comètes (*Discours de la comète qui a paru l'an* 1665; — *Crisis astronomica de motu cometarum*, 1666) et deux petits Mémoires sur les éclipses de Soleil de 1654 août 12 et 1659 qu'il observa respectivement à Erbeys et à Dijon.

Il observa aussi à Reims l'éclipse de Soleil du 20-21 août 1645 et à Langres celle du 26 janvier 1656 : cette dernière est peut-être la seule observation faite à Langres.

Après avoir entretenu une correspondance avec Fermat il publia un extrait de ses lettres dans un Ouvrage paru en 1670 sous le titre : *Doctrinæ analyticæ inventum novum* dont une traduction française a été jointe aux *Œuvres de Fermat* récemment publiées par P. Tannery et Ch. Henry, t. III, p. 325-398. Il combattit l'astrologie judiciaire, et le *Journal des savans* de 1666 (p. 430) contient de lui une méthode pour trouver l'année de la période julienne.

([2]) F. fr., n° 13030, fol. 13, v°. Lettre de 1643, oct. 25.

([3]) Par sa lettre du 17 mai 1648 (F. fr., n° 13030, f° 40) on voit qu'il a calculé quelques observations faites par Féronce. Voir aussi : *Lettres escrites au Sr Morin* ....

([4]) Voici ce que l'on trouve dans ces papiers, d'après *Cat. Mss. Carpentras :*

I, p. 645, n° 1253. — Recueil de lettres adressées à l'abbé Rive par ... Valois.

II, p. 229, n° 1777. — « Voyage au Cathai d'Evascho Petrin, cosaque de Sybérie,

vations] plus assidüement, mais je ne desfererais pas jamais à son jugement à l'esgal de celuy de l'autre... ».

En somme J. Valois fut surtout astrologue, et la principale obligation que lui ait l'Astronomie c'est d'avoir dirigé Féronce, comme nous verrons.

Valois ne donne aucun renseignement sur les lunettes dont il dispose; mais déjà en 1624 (Gass., *Op.*, IV) il avait un quart de cercle qu'il céda généreusement à Boulliau; voici la description qu'on en trouve dans sa lettre du 25 mai 1653 [1]; elle est fort diffuse, comme le reste de sa correspondance.

Vous avez désiré de savoir la grandeur, les dimensions et le prix de mon quart de cercle. Je vous diray que ses branches sont solides d'un demy doigt de quarrement, de deux pieds de Roy de . Sa circumference est d'un pouce de largeur divisé en degrez. Ces degrez sont marquez au bord de la circumference et divisez en 20 parties chascun ainsi chasque partie fait 3 minutes. Mais aprez cela il y a deux cercles dans la circumference distants l'un de l'autre de dix lignes entre lesquels sont tirez des transversales de 15 en 15 minutes et sur l'alhidade en la mesme distance sont marquez toutes les minutes en sorte que l'alhidade coupant une de ces transversales coupe précisément sur soy la minute du degré marqué.

Or au commencement voyant que les transversales n'estoient pas distinguées en minutes et ne pensant pas à la division dans l'alhidade et distinction en minutes, on fit faire des points sur les transversales par les minutes et au lieu d'en marquer 15 sur chaque transversale l'on n'en marqua que 14 qui est le manquement dont je vous ai

---

traduit de l'anglais de l'édition de Purchas en langue française par un ... et suppléé par le sieur Valois. » 1620.

II, p. 495, n° 1089. — « Copie de lettre de Saumaise à Dupuy sur les *Eglogues de Polybe* du sieur Valoys. » 1634.

II, p. 498, n° 1809. — Extrait d'une lettre où il est question du « golphe et de la multiplicité des ports de Smyrne, tel que l'ont peu desseigner des matelots ». La lettre de Peiresc était adressée à Valois. (Voir la copie de la réponse de Valois à Peiresc, au fol. 174 du Tome II du présent recueil.)

II, p. 513, n° 1810. — Copie d'une lettre de M. de Valois à Peiresc. Paris, 22 novembre 1633. Il lui accuse réception d'un « crayon du golfe de Smyrne » et combat l'opinion d'Aristide sur la ressemblance de ce golfe avec certains vases. (Voir extrait de la lettre de Peiresc à de Valois, à ce sujet, au fol. 169 du recueil XLI, t. I.)

III, p. 14, n° 1832. — De Gaultier à Peyresc sur la responce du Sr Valoys sur ses demonstrations pour la mesure et dimensions des distances des cieux. Aix, 20 mai 1632.

III, p. 320, n° 1876. — « M. Vallois ». Sous ce titre, 12 lettres au susdit, 13 mars 1633-28 octobre 1636.

III, p. 518, n° 2085.

(1) F. fr., n° 13030, f° 75.

escrit, mais ce défaut n'empesche pas que l'on en remarque precisement le point de l'intersection de l'alhidade et de la transversale qui marque precisement la minute demandée. Il y a un soutien à ce quadrant de loton de mesme qui a tous les mouvements necessaires pour le tenir en haust et en bas en travers et en toutes positions. Si vous desirez l'avoir je le vous enverray...

C'est ce qui fut fait, car le 5 octobre et le 16 novembre 1653 il écrit (¹) :

Jay esté ravy dapprendre par vostre lettre du 26 du passé que vous avez recu a la fin le quadrant astronomique que je vous ay envoyé. Il n'y manque rien de tout ce qui me fust baillé en lacheptant. Je ne m'ensuis guères servy surtout [?] par un lieu propre pour le mettre en usage. Mr Ozias sen est servy quelque temps, mais rien que pour prendre les haulteurs de ☉ et des Estoiles fort precisement. Vous avez raison de dire qu'il a esté destiné pour tourner sur un cercle horizontal pour en marquer les azimuts, mais je ne me suis pas mis en peine d'en faire faire un a faulte de bras [?] pour le poser et le mettre en pratique. Vous le pouvez faire faire de fer pourvu qu'il y ait des personnes qui le sachent bien precisement marquer. Jay deux pinnules très bien faites selon la façon descripte par M. Morin en son livre des Longitudes. C'est M. Ferrier qui les fit il me coustent une pistole. Si vous les voulez je les vous enverray avec le reste. Quant au prix de l'instrument je ne vous en dy point car je scay que vous ne m'en baillerez pas ce qu'il me couste. Faites estimer a qui vous voudrez et en payerez le prix que vous voudrez et aux tems que vous voudrez en tout ou en partie.... Pour le payement vous n'en serez jamais pressé ny par moy durant ma vie ny par mon neveu aprez moy qui vous est autant acquis que moy.

Monsieur Gassendi l'a veu et l'a autrefois voulu achepter lorsqu'il croioit aller a Constantinople avec M. de Marcheville.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Influence de l'eau et des matières minérales sur la germination des pois*. Note de MM. **L. Maquenne** et **E. Demoussy**.

On sait que certaines matières minérales sont indispensables à l'alimentation des plantes, que toutes sont capables d'agir sur la végétation, et que leur influence se fait sentir, en bien ou en mal, dès le début même de la germination. Mlle Thérèse Robert, dans un travail justement remarqué (²), a fait récemment à ce sujet une importante étude des rapports de la végétation avec les composés du calcium, mais, à part seulement celles qui touchent aux toxiques, ces recherches n'ont, en général, porté que sur des doses considérables de matière active, très supérieures aux besoins du végétal naissant. Celui-ci se trouve alors en présence d'une quantité exces-

(¹) F. fr., nº 13030, fº 106, 118.
(²) *Thèse de la Faculté des Sciences de Paris*, 1915.

sive de matière soluble, dépassant de beaucoup celle qu'il trouve habituellement dans le sol, et qui, par cela même qu'il n'y est pas adapté, peut lui être nuisible. C'est, en particulier, le cas des sels de potasse et des sels ammoniacaux, que la plupart des solutions nutritives artificielles renferment en beaucoup trop grand excès. C'est pourquoi nous avons pensé qu'il y aurait intérêt à reprendre cette étude avec des doses plus faibles et nous avons été amenés à reconnaître que certains de ces principes utiles agissent avec une énergie du même ordre que celle des toxiques les plus puissants, l'influence du calcium, par exemple, étant déjà sensible à la dilution de quelques cent-millionièmes seulement.

Pour constater ces effets il est nécessaire d'observer un certain nombre de précautions, dont la plus importante est l'emploi d'eau pure. La redistillation dans le verre de l'eau distillée commerciale est à ce point de vue tout à fait illusoire, car, à cause de l'attaque par l'eau des parois du réfrigérant ou du flacon collecteur, elle ne peut fournir qu'un liquide renfermant de 8^{mg} à 10^{mg} de matières minérales par litre, quantité plus de 50 fois supérieure à celle qui commence à se montrer active. La stérilisation dans le verre, en autoclave, conduit à des résultats plus fâcheux encore : de l'eau primitivement pure arrive ainsi à contenir, après une demi-heure de chauffe à 120°, jusqu'à 40^{mg} et 50^{mg} par litre de matières salines, ce qui la rend comparable à de l'eau de source étendue de 3 à 4 fois son volume d'eau pure.

C'est l'attaque du verre qui est la principale cause de ce fait observé par M. Molliard [1] qu'une graine germe moins bien dans de l'eau qui a déjà servi à une ou deux germinations que dans de l'eau neuve (distillée et stérilisée dans le verre). En réalité la première graine se développe, au début, d'une manière passable dans un pareil liquide parce qu'elle y trouve une dose massive de matières minérales; celles qui suivent viennent moins bien parce que ces mêmes matières ont été absorbées par les cultures précédentes. En fait, rien de semblable ne s'observe quand on opère avec de l'eau pure, stérilisée ou non, dans des tubes de quartz : la seconde culture est ni plus ni moins mauvaise que la première, et elle ne saurait guère l'être davantage, puisque, dans ces conditions, les racines cessent de s'accroître dès le troisième jour et ne dépassent que rarement 35^{mm} en longueur. Si donc il y a là quelque toxique en jeu, comme l'admet M. Molliard, son action doit être bien minime, d'autant plus que si l'on fait germer les graines (pois) directement sur l'eau, disposée en couche de 4^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur dans

(1) *Revue générale de Botanique*, t. 27, 1915, p. 289.

des capsules de quartz, on assiste au phénomène inverse : la seconde culture est meilleure que la première, avec des racines une fois et demie plus étendues et la troisième meilleure que la seconde. Ce sont alors les matières extractives, minérales et organiques, cédées à l'eau par les téguments, qui interviennent comme agents favorisants.

Longueur des racines après 24 heures de trempage et 6 jours de germination.

Première culture : 10 graines dans 8^{cm^3} d'eau pure	35^{mm}	36^{mm}	39^{mm}
Deuxième culture : 10 graines dans le liquide de la première	53	52	55
Troisième culture : 10 graines dans le liquide de la seconde	60	62	»

Pour la même raison les plantules qu'on désire cultiver en dehors du germoir doivent être placées dans des vases de quartz et non de verre, les racines et même les tiges, à la lumière, s'allongeant davantage dans ceux-ci que dans ceux-là.

Longueur des racines après 2 jours de germination et 6 jours de culture en tubes.

Tubes de quartz	22^{mm}	34^{mm}	27^{mm}
Tubes de verre	41	53	32

Les résultats sont d'ailleurs extrêmement variables avec la nature du verre, la façon dont il a été traité auparavant, ainsi qu'avec la forme et la capacité des vases, qui modifient l'étendue de leur surface de contact avec l'eau. Certains tubes de verre se comportent comme le quartz, tandis que d'autres, en apparence identiques, mais plus attaquables, fournissent des plantes trois à quatre fois plus hautes. Une pareille irrégularité s'oppose évidemment à ce que l'on puisse tirer aucune conclusion ferme d'observations comparatives faites avec des liqueurs de compositions très voisines. Il n'y a qu'un seul moyen d'y porter remède : c'est l'exclusion absolue, dans ce genre de recherches, de tous ustensiles de verre, surtout de petite dimension, et leur remplacement par des vases de quartz ou, s'il s'agit de simples germoirs, de porcelaine bien vernissée; les résultats sont alors comparables et même, si l'on procède par séries de 10 graines, d'une constance remarquable.

L'eau qui nous sert est préparée en distillant deux fois de suite de l'eau de source, naturellement exempte de cuivre, dans un gros ballon en verre d'Iéna relié, sans raccords ni bouchons de caoutchouc, à un condenseur en quartz transparent; c'est une disposition qui a été déjà employée pour

obtenir de l'eau de conductibilité minima. 250$^{cm^3}$ d'un pareil liquide, réduits par évaporation au volume de deux gouttes, ne doivent donner aucun trouble avec l'oxalate d'ammoniaque ni le chlorure de baryum; on n'y trouve qu'une trace inévitable de matière organique, s'élevant peut-être à 1 ou 2 cent-millionièmes. Le meilleur moyen d'apprécier sa pureté consiste à y faire germer des graines après l'avoir ramené par ébullition dans le platine au dixième de son volume primitif : le résultat doit être sensiblement le même qu'avec le liquide non concentré. Une pareille eau doit naturellement être conservée à l'abri des poussières atmosphériques, riches en calcium, et dans des vases de quartz ou de platine; nous nous sommes assurés que son séjour dans ce métal ne modifie en rien ses propriétés physiologiques.

Le choix du germoir n'a pas moins d'importance que celui de l'eau. La germination dans l'eau seule, en soucoupes de porcelaine ou en capsules de quartz, présente l'inconvénient de souiller le liquide de toutes les substances solubles que renferment les téguments; pour éliminer cette influence perturbatrice il est indispensable de faire reposer les graines sur un support assez rigide pour qu'elles ne le touchent qu'en un petit nombre de points.

Le coton hydrophile et le papier buvard sont à proscrire absolument, à cause de la grande quantité de matières salines qu'ils contiennent; le papier à analyses, dit *sans cendres*, lavé à l'acide chlorhydrique et à l'acide fluorhydrique, ne doit même être employé qu'avec circonspection, car il arrive parfois qu'il cède à l'eau une trace de substance calcaire. Le meilleur substratum est le quartz étonné, puis finement concassé, bouilli avec de l'eau régale, lavé à l'eau pure et finalement calciné dans le platine. A défaut de quartz nous avons fait le plus souvent usage de sable de Fontainebleau, également purifié par l'eau régale et calcination. Il conduit aux mêmes résultats que le quartz; son seul défaut est, à cause de la forme arrondie de ses éléments, de se laisser traverser par les racines, ce qui oblige, si l'on ne veut pas voir celles-ci se tordre au lieu de rester droites, comme il convient si l'on se propose de poursuivre leur culture dans des flacons ou des tubes, à retourner fréquemment les graines qu'il supporte.

Quand on dispose plusieurs semences sur le même substratum il faut éviter que les racines ne se trouvent en contact avec les téguments des graines voisines parce qu'il en résulte une absorption anormale et d'ailleurs absolument locale de principes minéraux qui se manifeste par un développement caractéristique de poils au point touché. La même chose a lieu si

quelque racine, en se courbant d'une façon exagérée, arrive au contact de la lame de verre qui sert de couvercle au germoir.

Ces observations, bien entendu, ne sont valables que pour les graines de pois, les seules que nous ayons expérimentées; nous avons choisi, comme donnant des germinations plus régulières que toute autre, la variété rustique connue sous le nom de *pois gris d'hiver*.

En vue d'éviter toute modification possible des éléments contenus dans leurs enveloppes, au contact des antiseptiques, les graines n'ont pas été stérilisées; on s'est contenté de les laver abondamment, sous violente agitation, avec de l'eau pure. Des essais comparatifs nous ont d'ailleurs montré que, pour cette espèce de graine, la stérilisation préalable (par l'eau oxygénée) est parfaitement inutile.

Après gonflement par immersion de 24 heures dans l'eau pure [1], elles étaient placées, par série de 10, dans des capsules de quartz ou des soucoupes, soigneusement lavées à l'acide nitrique, et à moitié remplies de sable humide (40^g de sable et 9^{cm^3} à 10^{cm^3} de liquide, eau pure ou solution saline). Les germoirs étaient recouverts d'une plaque de verre et maintenus dans une armoire obscure à une température comprise entre 20° et 25°. Les racines, seuls organes qui nous aient préoccupés jusqu'à présent parce que ce sont de beaucoup les plus sensibles aux premiers effets du liquide nourricier et que, les expériences ayant été faites à l'abri de la lumière, les tiges ne pouvaient, dans ces conditions, prendre une allure normale, ont été généralement mesurées après 6 jours, temps au bout duquel leur évolution est complètement arrêtée dans l'eau pure. Cette évolution peut se poursuivre encore plus d'une semaine si le milieu est favorable, mais, comme nous nous proposions surtout d'établir des comparaisons avec l'eau seule et que ce temps de 6 jours est suffisant, dans le cas des pois, pour que les toxiques commencent à produire leur effet, nous n'avons pas cru nécessaire de faire durer nos expériences davantage.

Examinons d'abord ce qui se passe avec l'eau pure. Le Tableau suivant donne la longueur des racines venues comme il a été dit plus haut, sur sable dans des soucoupes de porcelaine; chaque chiffre représente la moyenne de 20 mensurations, en sorte que la moyenne générale correspond à 200 observations individuelles.

---

(1) Le trempage dans l'eau calcaire donne lieu à une absorption de chaux qui se traduit plus tard par un accroissement sensible des tiges.

Longueur des racines après 24 heures de trempage et 6 jours de germination.

26^{mm}	23^{mm}	30^{mm}	25^{mm}	26^{mm}	27^{mm}	24^{mm}	27^{mm}	26^{mm}	25^{mm}

Moyenne générale : 26^{mm}

Ces dimensions extraordinairement réduites s'accordent avec celles qu'on observe quand on cultive des graines semblables dans l'eau pure, en tubes de quartz et à la lumière. Même dans ces conditions, qui sont pourtant plus avantageuses, les racines de pois ne dépassent guère 35^{mm}, alors qu'elles peuvent atteindre 50^{mm} dans des tubes de verre et jusqu'à 70^{mm} ou 80^{mm} si l'on emploie de l'eau distillée dans le verre.

Ajoutons qu'avec l'eau pure la croissance s'arrête au troisième ou quatrième jour; la racine principale reste glabre, sauf dans les seuls cas où elle a touché accidentellement l'enveloppe d'une graine voisine, et les radicelles sont rares, le plus souvent absentes. L'aspect général est celui d'une plante limite, tout à fait différent de celui qu'offrent les cultures venues dans l'eau distillée ordinaire, qui contient toujours un peu de chaux.

Cette influence fâcheuse de l'eau seule, déjà signalée, mais non d'une façon aussi frappante parce qu'elle n'a jamais été vue qu'avec des liquides renfermant encore des matières salines en dissolution, a été attribuée par certains auteurs à une action toxique qui serait exercée par l'eau pure. C'est là une opinion que nous ne saurions admettre, car on n'a le droit de considérer comme toxiques que les substances qui, à faible dose, sont capables d'influencer défavorablement un organisme sain, en pleine possession de tous ses moyens et exerçant en toute liberté ses fonctions vitales essentielles. Or, ce n'est pas le cas de l'eau qui, même en excès, n'a jamais été nuisible à aucun être vivant, lorsque ses rapports avec le monde extérieur n'en sont pas profondément modifiés, sous le triple rapport de l'alimentation, de la respiration et de l'osmose.

Si donc l'eau pure n'est pas toxique, et l'on ne voit vraiment pas à quel terme de comparaison il faudrait se rapporter pour établir qu'elle l'est réellement, c'est qu'elle est simplement insuffisante pour entretenir le métabolisme de la germination. A son action doivent se joindre d'autres influences également nécessaires, et c'est alors qu'apparaît le rôle de la matière minérale.

Au cours de cette étude les sels ont été ajoutés en une seule fois à l'eau d'humectation du sable ; il en résulte que, le volume total du liquide étant

très restreint (10^{cm^3} environ), les solutions offertes aux jeunes racines se trouvent contenir au début de $\frac{1}{100\,000}$ à $\frac{5}{10\,000}$ de matière active, mais il faut remarquer que cette concentration relativement forte est bientôt diminuée par suite de l'absorption que les racines exercent sur la matière dissoute, en sorte que les choses se passent comme si elles se trouvaient en présence d'un volume plus grand d'une solution plus diluée. On verra plus tard que nous avons vérifié cette équivalence dans le cas du sulfate de calcium.

Les produits employés doivent être naturellement aussi purs que possible, leur action spécifique pouvant être contre-balancée par celle des matières étrangères qu'ils contiennent à l'état brut. C'est ainsi que le sel marin ordinaire, toujours mélangé de chlorures alcalino-terreux, se montre nettement favorable, tandis qu'à l'état pur il reste à peu près indifférent.

Nous ne pourrons donner les résultats de ces recherches que dans une prochaine Communication; cependant une remarque générale s'impose au sujet de l'intervention du verre dans les expériences de physiologie. Les sels enlevés par l'eau au verre ordinaire, moins abondants à froid qu'à chaud, mais toujours en quantité suffisante pour jouer un rôle actif, sont constitués surtout par un mélange de silicates alcalins et de sulfate de calcium, d'où il suit que c'est aux métaux alcalins et alcalino-terreux qu'elle renferme que l'eau distillée et stérilisée dans le verre doit son action favorisante. Or, nous verrons bientôt que le sodium et le potassium n'influencent pas sensiblement la germination des pois ; c'est donc exclusivement le calcium qui est ici en cause, et ainsi se révèle une nouvelle fonction de ce métal, méconnue jusqu'à présent parce qu'on n'avait pas suffisamment purifié les milieux de culture, celle d'agir sur la végétation à dose infinitésimale.

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur un terrain artificiel, à peu près exempt de tout matière minérale ou organique, propre à l'étude des cultures végétales et à l'examen de l'influence des divers engrais chimiques.* Note de M. A. GAUTIER [1].

Au cours des recherches que je poursuis depuis longtemps, avec M. P. Clausmann, sur le rôle et la présence du fluor dans les organes des animaux et des plantes, je me suis demandé quelle pouvait être l'influence

[1] Communiquée à l'Académie à l'occasion de la précédente Note de MM. *Maquenne* et *Demoussy*.

qu'exerce le fluor des terres, naturelles ou artificielles, sur la végétation des plantes les plus diverses, et surtout les plus utiles.

Nous avons dû pour cette étude réaliser un milieu autant que possible exempt de fluor, ce qui nous a amenés à faire d'abord nos cultures en pots de 4 litres remplis d'une poudre de verre aussi pur que possible, spécialement fabriqué pour ces recherches à la verrerie de Clichy, à qui nous devons tous nos remerciements. Mais ce verre ayant été reconnu contenir encore de 3^{mg} à 4^{mg} de fluor par kilogramme, il a fallu chercher comme support de culture un milieu bien exempt de fluor et autant que possible de toute autre substance minérale ou organique. J''ai pu réaliser ce terrain grâce à la braise de boulanger pulvérisée, portée d'abord au rouge, puis bouillie avec l'acide chlorhydrique, enfin lavée à fond à l'eau distillée (¹). Ce milieu, très pauvre en sels de toute sorte et en fluor, est un excellent milieu de culture que je propose aux botanistes expérimentateurs pour remplacer très avantageusement le verre, le coton, le sable siliceux lavé aux acides ou l'eau pure, et ne pas transformer, dans leurs essais, les cultures terrestres en cultures aquatiques. C'est dans ce milieu que j'ai opéré et que les botanistes pourront, comme moi, étudier les effets activants ou nuisibles des divers engrais ou matières minérales. L'eau employée par nous était de l'eau de pluie (²). Après avoir d'abord fait nos cultures en pots dans ce milieu charbonneux, nous avons repris ensuite sur de véritables champs de plusieurs ares les expériences pratiques que nous nous proposons de communiquer bientôt à l'Académie relativement aux effets qu'exerce sur la végétation l'addition des fluorures aux sols arables.

THERMODYNAMIQUE. — *Sur la chaleur spécifique des fluides maintenus à l'état de saturation.* Note (³) de M. E. **Ariès**.

L'entropie S d'un fluide maintenu à l'état de saturation est, comme la tension P que ce fluide exerce et comme le volume v qu'il occupe, une fonction de la température seule. En prenant le volume comme abscisse et la pression comme ordonnée, le cycle de transformations que subit le corps

(¹) Le quartz ordinaire pulvérisé contient du fluor et cède de la silice.

(²) On sait qu'elle contient seulement une *trace* de sulfates de soude et de chaux, un peu de chlorures alcalins et de nitrate d'ammoniaque; ces traces étaient totalement indifférentes dans nos essais sur l'action des fluorures.

(³) Séance du 29 mai 1917.

est représenté par une courbe qu'on peut appeler la *courbe de saturation*. Ce cycle donne lieu à la considération de la chaleur spécifique M, définie par la formule générale $M = T\frac{\partial S}{\partial T}$. Suivant que le corps sera à l'état de vapeur ou à l'état liquide, on peut affecter les quantités variables qui s'y rapportent de l'indice 1 ou de l'indice 2, et poser

$$M_1 = T\frac{\partial S_1}{\partial T}, \qquad M_2 = T\frac{\partial S_2}{\partial T}.$$

Tout le monde s'accorde à reconnaître que la chaleur spécifique M_2 d'un liquide saturé est une quantité positive. L'ingénieur aussi bien que le physicien ont un grand intérêt à connaître, aux différentes températures, la valeur ou, tout au moins, le signe de la chaleur spécifique M_1 d'une vapeur saturée. Cependant nos connaissances sont encore assez bornées et incertaines sur ce sujet.

Combes, Dupré et bien d'autres savants ensuite, en se basant sur l'allure des variations de la chaleur spécifique M_1 avec la température pour l'eau, le sulfure de carbone, l'acétone, la benzine, le chloroforme, le chlorure de carbone, l'alcool et l'éther, ont été conduits à admettre que ce coefficient, négatif aux températures assez basses, croît constamment avec la température et passe par une *température d'inversion*, à partir de laquelle il resterait vraisemblablement positif jusqu'à la température critique. Mais on s'est généralement abstenu de se prononcer sur la valeur et le signe que pouvait prendre M_1 aux températures voisines du zéro absolu.

Une application plus complète et plus rigoureuse que celle qui a été faite jusqu'ici des principes de la Thermodynamique peut, croyons-nous, porter quelque clarté sur les points encore obscurs.

Ces principes assignent les propriétés suivantes aux lignes isothermiques et adiabatiques indiquées respectivement sur la figure par des traits pointillés et des traits fins.

1° Deux lignes d'un même système ne peuvent se couper.

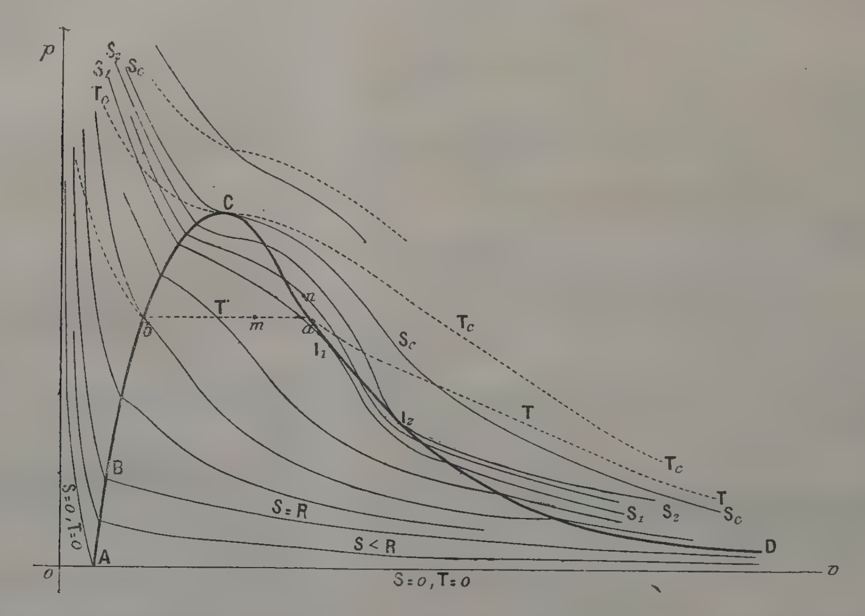
2° Pour chaque système, l'ordonnée varie en sens inverse de l'abscisse.

3° Chaque ligne d'un système progresse vers la direction positive des axes de coordonnées, à mesure que la température ou l'entropie croît.

4° Chaque ligne d'un système coupe en un seul point chaque ligne de l'autre système, la ligne adiabatique passant de droite à gauche au-dessus de la ligne isothermique.

Nous admettrons, en outre, comme indiquées par l'expérience les hypothèses suivantes concernant l'état de saturation :

a. La température croissant du zéro absolu à la température critique T_c, la densité du liquide décroît, et la densité de la vapeur, d'abord nulle, croît sans cesse, les deux densités tendant rapidement à s'égaliser par une faible élévation de la pression pour faire aboutir le fluide à l'état critique. La courbe de saturation aura, en conséquence, la forme générale et continue représentée sur la figure par le trait fort $ABCI_1I_2D$, avec une tan-



gente horizontale à son sommet C, qui est le point critique. Tout point m intérieur à la courbe, et situé sur une droite horizontale ab, figure une liquéfaction partielle à température constante T, et l'on sait que le point m est le centre de gravité des quantités de vapeur et de liquide en les supposant concentrées respectivement aux points extrêmes a et b.

b. Au voisinage de la température critique, M_1 est positif et finit par devenir négatif à plus basse température. C'est la conclusion, peut-être encore contestable, à laquelle sont arrivés les savants cités plus haut : il en résulte que la ligne adiabatique S_c qui passe au point critique C, aura, en ce point, une inflexion comme la ligne isothermique T_c.

Par la seule inspection de la partie de courbe ABC, on voit que l'entropie du liquide croît sans cesse avec la température et que, par suite, la chaleur

spécifique M_2 est toujours positive. Mais, au zéro absolu, M_2 s'annule comme nous allons le voir.

Considérons d'une façon générale la chaleur spécifique $T\frac{dS}{dT}$ d'un corps pris dans un état quelconque, et dont la définition, laissée ici indéterminée, dépendra de la manière dont peut être conçue la transformation élémentaire donnant lieu à une variation dS d'entropie pour une variation dT de la température. Prenons comme variables indépendantes la température et la pression : nous aurons (¹)

$$(1) \quad T\frac{\partial S}{\partial T} = \lim \frac{T}{dT}\left[\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T dp\right]$$
$$= \lim \frac{T}{dT}\left[\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p dT - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp\right]$$
$$= C_p - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \frac{\partial p}{\partial T} = C_p - T v \alpha_p \frac{\partial p}{\partial T}.$$

Le second membre de cette formule bien connue représentera la chaleur spécifique M, si p est constamment égal à la tension P du fluide maintenu à l'état de saturation. Si on l'applique alors au calcul de la chaleur spécifique M_2, en faisant tendre la température T vers le zéro absolu, on aura tout à la fois, comme nous l'avons déjà démontré,

$$C_p = 0, \quad \left(\frac{\partial v_2}{\partial T}\right)_p = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial T} = \lim \frac{P}{T} = \lim \frac{R}{v_1} = 0 \quad \text{pour} \quad T = 0$$

et, par conséquent,

$$M_2 = C_p - T\left(\frac{\partial v_2}{\partial T}\right)_p \frac{\partial P}{\partial T} = 0 \quad \text{pour} \quad T = 0. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

La chaleur spécifique M_1, quand on fait tendre T vers le zéro absolu, se calcule par la même formule. La vapeur saturée devient alors gaz parfait, et sa tension P satisfait aux relations

$$P v_1 = RT \quad \text{et} \quad P = KT^{\frac{m}{m-1}}, \quad \text{d'où} \quad \frac{T}{P}\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{m}{m-1}.$$

On a d'ailleurs

$$C_p = C, \quad \left(\frac{\partial v_1}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{P};$$

(¹) Pour les notations, formules et propriétés rappelées, se reporter à trois de nos précédentes Communications (*Comptes rendus*, t. 164, 1917, p. 343, 477 et 593). Voir aussi la manière dont M. C. Raveau a traité le même sujet : *Journal de Physique*, 1892, p. 461.

et la formule (1) donne

$$M_1 = C - T\frac{R}{P}\frac{\partial P}{\partial T} = C - \frac{m}{m-1}R = C - C = 0 \quad \text{pour} \quad T = 0.$$

La chaleur spécifique d'une vapeur saturée, comme la chaleur spécifique d'un liquide saturé, s'annule au zéro de la température absolue.

M_1 est positif aux très basses températures, car la ligne adiabatique $S = R$ (S étant l'entropie du poids moléculaire du corps) touche la courbe de saturation à l'infini; les lignes immédiatement supérieures coupent cette courbe en des points très éloignés qui s'élèvent également, en sorte que l'entropie moléculaire de la vapeur saturée qui part de la valeur R pour $T = 0$, commence par croître avec la température, d'où résulte que M_1 est positif au voisinage du zéro absolu.

M_1 est encore positif au voisinage de la température critique; donc il change de signe un nombre pair de fois dans l'intervalle, ce qui donne lieu à un nombre pair de températures d'inversion. Comme toutes les données de l'expérience ont paru démontrer l'existence de chaleurs spécifiques négatives, il semble naturel d'admettre qu'il existe pour tous les corps deux températures d'inversion, et deux seulement. Elles correspondent aux points de contact I_1 et I_2 que les lignes adiabatiques S_1 et S_2 ont avec la courbe de saturation.

Le long de cette courbe, l'entropie du fluide saturé, d'abord nulle au point A, va en croissant jusqu'au point critique C, en décroissant du point C au point I_1, puis en croissant du point I_1 au point I_2, et enfin en décroissant du point I_2 pour tendre vers la valeur R, quand le volume de la vapeur saturée augmente indéfiniment. Cette entropie atteint une valeur maxima aux points C et I_2, et une valeur minima au point I_1.

Par raison de continuité, les deux chaleurs spécifiques M_1 et M_2 semblent prendre une valeur commune et finie au point critique.

On suit facilement sur la figure l'effet d'une détente ou d'une compression adiabatique exercée sur un gaz ou une vapeur. Cet effet varie suivant la valeur constante que conserve l'entropie du fluide dans ces opérations; il est particulièrement intéressant à observer quand la vapeur part d'un état initial, marqué par le point n, avec une température supérieure à la température d'inversion T_2 et avec une entropie comprise entre S_1 et S_2. Dans ce cas, une compression finira par aboutir à une condensation qui pourra être complète et transformer toute la vapeur en liquide; une détente

entraînera d'abord une condensation partielle qui, après avoir atteint un maximum, finira par disparaître pour laisser la vapeur sèche, quelque prolongée que soit la détente.

M. G. Mittag-Leffler fait hommage à l'Académie des fascicules 40 : 4 et 41 : 1 des *Acta mathematica*.

PLI CACHETÉ.

M. J. **Persoz** demande l'ouverture d'un pli cacheté, reçu dans la séance du 14 août 1865 et enregistré sous le n° 2298.

Ce pli, ouvert en séance par M. le Président, contient une Note intitulée : *Deuxième Mémoire sur l'état moléculaire des corps; matières organiques; de la formation des acides.*

(Renvoi à la Section de Chimie.)

CORRESPONDANCE.

M. le **Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts** invite l'Académie à lui présenter une liste de candidats pour une chaire de *Chimie organique* au Collège de France.

(Renvoi à la Section de Chimie.)

THÉORIE DES NOMBRES. — *Sur les formes binaires à indéterminées conjuguées qui restent invariantes par un groupe de substitutions linéaires.* Note de M. **Gaston Julia.**

J'ai montré (*Comptes rendus*, t. 163, 1916, p. 599) que, si φ et ψ sont deux formes d'Hermite indéfinies à coefficients entiers, et à demi-sphères représentatives sécantes, il existe un groupe G, cyclique, formé d'une infinité de substitutions modulaires hyperboliques, conservant à la fois φ et ψ. Il en résulte qu'un tel groupe conserve la forme à indéterminées conjuguées

de degré $2n$

$$f = a_0 \varphi^n + a_1 \varphi^{n-1} \psi + a_2 \varphi^{n-2} \psi^2 + \ldots + a_n \psi^n,$$

les a_i étant des nombres réels quelconques. On voit donc que, contrairement à ce qui se passe pour les formes binaires ordinaires, il existe des formes à indéterminées conjuguées de degré arbitrairement élevé, invariantes par un groupe *infini* de substitutions linéaires.

Il est cependant aisé de montrer que :

Toute forme binaire à indéterminées conjuguées qui reste invariante par un groupe infini de substitutions linéaires est du type

$$f = a_0 \varphi^n + a_1 \varphi^{n-1} \psi + \ldots + a_n \psi^n,$$

φ *et* ψ *étant deux formes d'Hermite distinctes* (à coefficients quelconques, non forcément entiers), *les* a_i *étant des nombres réels quelconques.* Inversement, toute forme de ce type admet une infinité de substitutions automorphes, à savoir toutes celles qui conservent à la fois φ et ψ.

Les formes du type précédent sont décomposables :

$$f = a_0(\varphi - \lambda_1 \psi)(\varphi - \lambda_2 \psi) \ldots (\varphi - \lambda_n \psi).$$

Il leur correspond dans le plan $O\xi\eta$ des courbes

$$f(z, 1) = \varphi(z, z') = 0$$

qui se décomposent en n cercles; ces cercles auront des équations en $\xi\eta$ $(z = \xi + i\eta)$ à coefficients réels lorsque λ_i sera réel; à deux valeurs complexes conjuguées de λ correspondront deux cercles imaginaires conjugués.

Il est donc possible d'affirmer qu'une forme binaire à indéterminées conjuguées *indécomposable* ne peut admettre comme groupe automorphe qu'un *groupe fini*.

Ces groupes finis sont bien connus maintenant, et il est facile de donner les types canoniques auxquels se ramènent (par une substitution linéaire) toutes les formes à indéterminées conjuguées que ces groupes laissent invariantes. On suppose pour cela que le groupe fini est un groupe de polyèdre régulier. Si alors on fait la projection stéréographique Γ sur la sphère de la courbe $\varphi(z, z') = 0$ du plan $O\xi\eta$ qui correspond à la forme f, on trouve que le cône qui a pour sommet l'origine et pour directrice la courbe Γ revient sur lui-même par toutes les rotations du groupe d'un polyèdre. Ce cône est donc une des surfaces qui ont été étudiées par M. Goursat. On connaît toutes ces surfaces, on en déduit toutes les formes cherchées.

On trouve que toutes ces formes sont des polynomes homogènes par rapport à *quatre formes fondamentales* P, Q, R, S qui caractérisent le groupe fini considéré; ces quatre formes fondamentales sont du même degré, ce sont des formes binaires à indéterminées conjuguées à coefficients entiers.

Voici, à titre d'exemple, les formes P, Q, R, S auxquelles on parvient pour le groupe du tétraèdre :

$$P(x, y) = [4xx'yy'(x^2x'^2 - xyx'y' + y^2y'^2) - (x^2y'^2 + x'^2y^2)^2](xx' + yy')^2,$$
$$Q(x, y) = -i(x^2y'^2 - x'^2y^2)(xx' - yy')(xx' + yy')^3,$$
$$R(x, y) = 2(x^2y'^2 + x'^2y^2)[(x^2y'^2 + y^2x'^2)^2 - (x^2x'^2 - 4xx'yy' + y^2y'^2)y^2y'^2],$$
$$S(x, y) = (xx' + yy')^6.$$

Elles sont toutes du degré 12, et à coefficients entiers.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur une extension de la notion de densité des ensembles*. Note [1] de M. **W. Sierpiński**.

Dans cette Note nous donnerons une extension de la notion de *densité* (épaisseur) d'un ensemble de points qui sera applicable aux ensembles quelconques (mesurables ou non) et nous démontrerons un théorème général sur les ensembles de points. Pour simplifier nous nous bornerons aux ensembles linéaires.

Soit E un ensemble donné quelconque, mesurable ou non. Désignons généralement par $E_{a,b}$ la partie de l'ensemble E contenue dans l'intervalle (a, b). Appelons *densité extérieure* de l'ensemble E en un point x la limite, si elle existe,

$$\lim_{\varepsilon=0} \frac{m_e(E_{x-\varepsilon,\, x+\varepsilon})}{2\varepsilon},$$

$m_e(E)$ désignant la mesure extérieure, au sens de Lebesgue, de l'ensemble E.

Théorème. — *Les points où la densité extérieure d'un ensemble* E (mesurable ou non) *est égale à un, forment un ensemble mesurable* G *dont la mesure est égale à la mesure extérieure de l'ensemble* E. *Les points de* E *qui n'appartiennent pas à* G *forment un ensemble de mesure nulle.*

Démonstration. — Soit E un ensemble donné quelconque, mesurable ou

(1) Séance du 18 juin 1917.

non, et désignons par G l'ensemble de tous les points (appartenant à E ou non) en lesquels la densité extérieure de E est égale à un.

On démontre sans peine qu'il existe, pour l'ensemble E, un ensemble mesurable M contenant E et tel que

$$m(\mathrm{M}) = m_e(\mathrm{E}). \tag{1}$$

De là résulte sans peine que les ensembles M et E ont la même mesure extérieure dans tout intervalle, donc la même densité extérieure aux points où elle est déterminée, Or, pour un ensemble mesurable, la densité extérieure se confond avec la densité (épaisseur), et d'après un théorème qui est dû à M. Lebesgue la densité d'un ensemble mesurable M est presque partout égale à un dans M et presque partout égale à zéro dans le complémentaire de M. Il en résulte que les points de M n'appartenant pas à G et les points de G n'appartenant pas à M forment un ensemble de mesure nulle. Donc

$$m(\mathrm{G}) = m(\mathrm{M})$$

et, d'après (1),

$$m(\mathrm{G}) = m_e(\mathrm{E}). \tag{2}$$

Or, M contenant E et l'ensemble M — G étant de mesure nulle, l'ensemble de tous les points de E n'appartenant pas à G est de mesure nulle. Notre théorème est donc démontré complètement.

Posons encore

$$\mathrm{H} = \mathrm{E} + \mathrm{G};$$

d'après $m(\mathrm{E} - \mathrm{G}) = 0$, nous aurons évidemment $m(\mathrm{H}) = m(\mathrm{G})$; donc, d'après (2),

$$m(\mathrm{H}) = m_e(\mathrm{E}).$$

H sera donc un ensemble mesurable bien déterminé par E, contenant E et ayant une mesure égale à la mesure extérieure de E. Nous pouvons donc affirmer :

On peut définir une loi d'après laquelle à tout ensemble non mesurable E *correspond un ensemble mesurable* $\mathrm{H} = \mathrm{H}(\mathrm{E})$ *bien déterminé contenant* E *et ayant une mesure égale à la mesure extérieure de* E.

MÉCANIQUE ANALYTIQUE. — *Contribution à l'étude du cas le plus général du choc dans un système de points matériels soumis à la loi de Newton.* Mémoire de M. **E. Jablonski**, présenté par M. Appell. (Extrait par l'auteur.)

Le cas du choc binaire a été complètement résolu par M. Sundmann, pour trois corps, et sa solution s'étend facilement au cas d'un nombre quelconque de corps lorsque deux d'entre eux et deux seulement se heurtent au même instant. Plus tard le même auteur a abordé l'étude du cas où, dans un système de trois corps, tous les trois se heurteraient simultanément (*Acta societatis Fenicœ*, t. 34). Je me suis proposé l'examen de la question sous la forme la plus générale en envisageant le cas où, dans un système de n points matériels soumis à la loi de Newton, abstraction faite de toute force autre que les attractions mutuelles, il se forme, au même instant, un ou plusieurs groupes de points, à savoir : un groupe de n' points se heurtant simultanément en un point A, un groupe de n'' points se heurtant simultanément en A_1, ..., les autres points du système restant isolés. Je suis arrivé, dans un Mémoire qui paraîtra prochainement, à cette conclusion générale qui comprend comme cas très particuliers les résultats trouvés par M. Sundmann : dans chaque groupe, les points matériels qui viennent simultanément se choquer au point A tendent à former une figure bien définie, polyédrale, plane ou rectiligne; les rapports de leurs distances mutuelles tendent vers des limites bien déterminées, jamais ni nulles ni infinies, qui ne peuvent dépendre que des masses et de la constante d'attraction universelle et qui même, dans certains cas particuliers, peuvent en être indépendantes et être des nombres constants.

Ces figures de groupement ont une signification intéressante; ce sont celles de l'équilibre d'un système fictif de points, ayant respectivement les mêmes masses que ceux du groupe considéré et en même nombre, qui s'attireraient mutuellement suivant la loi de Newton, mais, en outre, se repousseraient mutuellement proportionnellement à leur distance et au produit de leurs masses, l'action répulsive de l'unité de masse sur l'unité de masse à l'unité de distance étant $\frac{1}{M}$ où M désigne la masse totale du groupe.

J'ai été conduit à ces recherches par la rencontre de solutions particulières des équations différentielles du mouvement d'un système de n points matériels, solutions qu'on peut aisément mettre en évidence toutes les fois

qu'il y a une fonction de forces homogène par rapport à l'ensemble des coordonnées de tous les points du système. En me limitant au cas d'un système newtonien, j'ai, dans la première partie de mon travail, étudié ces solutions particulières. Elles donnent un mode de mouvement relatif par rapport au centre de gravité du système où chaque point décrit toujours la même droite passant par ce centre de gravité, tandis que l'ensemble des points du système affecte, à tout instant, une figure homothétique par rapport à ce centre de gravité d'une figure fixe définie plus haut. Dans ce mouvement, tous les points du système peuvent simultanément se heurter au centre de gravité, une fois, ou périodiquement un nombre illimité de fois, et après chaque choc, il y a rebroussement simultané de tous les points, mais ceci doit s'entendre dans le sens de la cinématique.

Un cas particulièrement intéressant est celui où ce mouvement relatif est périodique; alors le système des points ou atomes forment une molécule en équilibre mobile, c'est-à-dire stable, dont la figure conserve une forme invariable se dilatant et se contractant suivant une loi déterminée. La condition de périodicité, c'est-à-dire de stabilité, mérite de retenir l'attention: il faut et il suffit que la constante des forces vives ou énergie totale du système, dans son mouvement relatif par rapport à son centre de gravité, soit négative.

Le cas bien connu de deux corps soumis à la loi de Newton conduit à la même conclusion lorsqu'on cherche la condition pour qu'il y ait stabilité, c'est-à-dire pour que le mouvement relatif soit elliptique. J'ai été amené ainsi, incidemment, à voir si elle subsiste pour un nombre quelconque de corps et à démontrer cette proposition : Pour qu'il y ait stabilité, c'est-à-dire pour que toutes les distances mutuelles restent finies lorsque le temps t croît indéfiniment, il *faut* que, dans le mouvement relatif par rapport au centre de gravité du système, la constante des forces vives ou énergie totale du système soit négative, et si cette condition est satisfaite, il y a stabilité d'au moins une partie du système, toutes les distances mutuelles ne pouvant pas croître indéfiniment avec t.

L'étude des figures de groupement définies plus haut est capitale pour savoir si les solutions particulières en question sont possibles, mais surtout pour la question plus générale du choc multiple qui est l'objet principal de mes recherches et dont la possibilité est liée à l'existence de ces figures. Je démontre qu'il y a toujours au moins une figure polyédrale pour $n \geqq 4$, n étant le nombre des points du groupe (pour $n = 4$ la figure est un tétraèdre régulier), et que pour n quelconque il y a au moins une figure plane poly-

gonale et au moins une où tous les points sont disposés sur une même droite. J'ai étudié complètement le cas de trois points pour lequel je trouve un triangle équilatéral et trois dispositions rectilignes quand les masses sont inégales, deux si deux des masses sont égales, une seule si les trois masses sont égales (M. Sundmann, dans le Mémoire précité, avait trouvé le triangle équilatéral et une disposition rectiligne possible, mais par une analyse difficilement généralisable). Je démontre en outre que, dans le cas le plus général où les masses sont quelconques, il ne peut pas y avoir, pour un même système de points, une infinité de figures de groupement répondant à la question.

Dans la seconde partie de mon travail, j'aborde le cas général du choc et, par une suite de propositions, sans rien préjuger sur l'espèce de la valeur critique $t = t_1$ pour les intégrales des équations différentielles du mouvement, j'arrive à la conclusion générale énoncée au début de cette Note.

Le problème de l'étude du mouvement dans chaque groupe et pour tout le système est ramené par mon analyse à celui de l'étude des intégrales de systèmes d'équations différentielles où les variables dépendantes convenablement choisies qu'on substitue aux coordonnées des points et aussi la variable indépendante qu'on substitue au temps t, prennent à l'instant t_1 du choc des valeurs finies et bien déterminées, par exemple $u_p^{(0)}$ pour l'une d'elles u_p; et grâce aux transformations effectuées, les équations différentielles du mouvement sont, pour $t - t_1$ assez petit, développables en séries convergentes et entières par rapport aux différences $u_p - u_p^{(0)}$ (p de 1 à n), ce qu'on ne pouvait pas faire, dans le cas du choc, sur les équations différentielles du mouvement prises sous la forme classique fondamentale.

C'est une première étape sur la voie que j'espère pouvoir continuer à suivre.

ASTRONOMIE. — *Sur quelques principes applicables à la Planétographie comparée.* Note [1] de M. **Émile Belot**, présentée par M. Bigourdan.

Dans des Notes antérieures [2] j'ai appliqué à la Terre des notions de Cosmogonie tourbillonnaire et des principes de la Physique de l'eau qui

(1) Séance du 18 juin 1917.

(2) *Comptes rendus*, t. 158, 1914, p. 647; t. 159, 1914, p. 89; t. 162, 1916, p. 516 et 951.

peuvent aussi servir à une étude des astres voisins de la Terre (Mars, Vénus, Lune) dont les conditions de formation ont dû se ressembler.

Calculons par la loi des distances des satellites, précisée dans ma Note [1], les distances x des quatre premiers satellites primitifs de ces astres; puis par l'intégrale de Jacobi la distance α où un satellite ne peut plus être retenu par son astre central. Simplifiant une formule déjà appliquée par M. Luc Picart [2] à la Terre et à Mars, on exprime D distance au Soleil en rayons de la planète dont on considère les satellites, et m la masse de la planète en fraction de celle du Soleil; on a alors

$$\alpha = \mathrm{D}\sqrt[3]{\frac{m}{81}} \quad (\alpha \text{ en rayons de la planète}).$$

Le Tableau suivant contient les distances x et α ainsi que les valeurs de g (intensité de la pesanteur) et t (température théorique) à la surface de chaque astre :

	Mars.	Terre.	Vénus.	Lune.
Loi des distances x.	$0{,}165 + 2{,}605^n$	$0{,}35 + 2{,}897^n$	$0{,}32 + 2{,}82^n$	$0{,}08 + 2{,}45^n$
x_1	**2,77** (Phobos)	3,25	3,14	2,53
x_2	**6,95** (Deimos)	8,74	7,92	6,08
x_3	17,84	24,67	21,27	(14,79)
x_4	46,21	**70,81** (Lune) [3]	(58,08)	(36,14)
α	105,7	78,1	54,7	11,77
g	0,37	1	0,88	0,166
t [4]	$-37°$	6°,5	65°	de $+150°$ à -250^{m}
H	51^{m}	3000^{m}	1760^{m}	29^{m} [5]

Ainsi Mars pourrait avoir deux satellites stables au delà de Deimos (x_5 dépasse 105,7) : la Lune que la résistance de la nébuleuse primitive a arrêtée à la distance angulaire de 18° au-dessous de l'équateur terrestre (distance moyenne 60,27) est le dernier satellite stable de la Terre; les satellites x_4 de Vénus et x_3, x_4 de la Lune n'ont pu exister. Mais tandis que x_1, x_2 subsistent pour Mars, ils ont disparu pour la Terre, Vénus et la Lune, ainsi que x_3 pour la Terre et Vénus. Pour expliquer ces disparitions il faut admettre que l'atmosphère primitive de ces astres très diluée, mais consti-

---

(1) *Comptes rendus*, t. 162, 1916, p. 564.

(2) *Quelques points relatifs à la théorie de la capture des comètes* (Lille, 1903).

(3) Distance où la Lune aurait atteint ce plan de l'équateur terrestre.

(4) D'après Christiansen.

(5) Hauteur moyenne d'eau.

tuant une résistance de milieu, ne s'est pas étendue jusqu'à 2,77 pour Mars, mais a atteint 24,67 pour la Terre, 21,27 pour Vénus et 6,08 pour la Lune.

Sachant que l'atmosphère primitive de la Terre contenait une hauteur moyenne de 3000^{m} d'eau, on peut par comparaison avec les distances des satellites disparus ou non obtenir l'ordre de grandeur des hauteurs H d'eau contenues dans les atmosphères primitives de Mars, Vénus et la Lune, en supposant négligeables les gaz atmosphériques au regard de la vapeur d'eau, et la hauteur de chaque atmosphère variant en sens inverse de g et dilatée en proportion des t, températures calculées par Christiansen au moyen de la constante solaire sur la Terre.

Le Tableau ci-dessus indique les hauteurs H d'eau qui doivent subsister sur Mars, Vénus et la Lune, et qui donnent lieu aux suggestions suivantes par comparaison avec la Terre :

Mars. — La même cause que sur la Terre (frottement de la nébuleuse sur les couches externes de l'atmosphère) a dû produire un déluge austral primitif sur Mars, Vénus et la Lune; en effet sur Mars presque toutes les mers sont australes (mare *Australe Erythræum*, etc.); comme sur la Terre elles présentent une dissymétrie en longitude analogue à la dissymétrie du Pacifique qui s'explique [1] par un phénomène d'équilibre instable autour d'un pôle. Sur le quart de sphère austral contenant Syrtis major et s'étendant de 70° longitude à 250° longitude, les mers martiennes s'avancent jusqu'à 10° de latitude de l'équateur, tandis que sur l'autre quart de sphère austral, elles ne vont que jusqu'à la latitude 45°. Occupant 0,28 de la surface de Mars, elles ont ainsi une profondeur moyenne maxima de 180^{m}. Cette faible profondeur montre qu'il n'a pu se produire ni effet antipodique ni érosion avec transport de sédiments comme sur la Terre : de même l'absence de précipitation satellitaire a empêché toute surrection orogénique. Les reliefs doivent donc être peu accentués et même instables à la suite de la fusion des glaces polaires. La torsion vers l'Est des saillies martiennes australes existe pour la même cause que sur la Terre (Atlantis, Hesperia, Ausonia).

Vénus. — Les 1760^{m} de hauteur moyenne d'eau sur Vénus correspondent à une pression atmosphérique primitive qui serait sur la Terre de 154^{atm} alors que la pression critique de l'eau est 194^{atm}. Ainsi il n'y a pas eu sur Vénus, autour du pôle austral, de *déluge critique* comme sur la Terre, où la pression initiale dépassait 300^{atm}; par suite pas d'érosion violente ni de transport de sédiments pour former des soubassements de continents boréaux. Ainsi l'eau s'est étendue lentement, à partir du pôle austral, recouvrant probablement toute la surface de Vénus, d'autant que le refroidissement de son atmosphère a été plus long que sur la Terre.

(1) *Comptes rendus*, t. 162, 1916, p. 951.

L'absence de saillies continentales sur Vénus expliquerait bien l'uniformité d'aspect des vapeurs qui l'enveloppent, mais à une condition, c'est que sa rotation ne s'effectue pas comme celle de la Lune : car dans ce cas l'hémisphère constamment opposé au Soleil agissant comme un puissant condenseur à -200° aurait dépouillé Vénus de son atmosphère aqueuse. Cet argument physique est la preuve la plus forte qu'on puisse apporter de la rotation rapide de Vénus, en dehors de celle qui résulte du calcul de sa durée de rotation (28^h13^m) par la loi des rotations [1].

Lune. — Comment avec moins d'eau encore que Mars, la Lune a-t-elle des saillies importantes? On sait [2] que le volcanisme doit être considéré comme résultant de fissures profondes où pénètre l'eau; or il est beaucoup plus abondant sur l'hémisphère austral que sur l'autre : la Lune a donc eu aussi un déluge austral primitif. Les fissures, absorbant l'eau au profit du volcanisme, sont dues sur la Lune aux marées de l'écorce, à la chute des satellites x_1, x_2, au retrait de sa surface qui passe en $13^j,5$ de $+150^\circ$ à -250°, conditions qui n'existent sur aucune planète à rotation rapide. La Lune diffère encore de ces astres par la position de son axe à peu près normal à l'écliptique. La pression du *vent relatif* de la nébuleuse qui explique bien la dépression de l'Océan arctique sur la Terre s'exercera donc sur la Lune à une grande distance du pôle boréal, surtout si l'on tient compte de l'entraînement de la Lune sur l'orbite terrestre. Or toute dépression sur une surface sphérique à faible rotation est *circulaire* par raison de symétrie : c'est là l'origine des mers circulaires boréales (mers des *pluies*, de la sérénité, des crises). En même temps s'explique la couleur plus foncée des mers : en effet, si le vent divergent a chassé des mers vers leur pourtour les scories calcaires de densité 2, 3, il met à nu des roches fondues plus denses (2, 7) mélanocrates (basalte, péridot, etc.) dont la couleur est plus foncée. On peut d'ailleurs produire ce phénomène d'une crête circulaire en soufflant normalement à la surface d'un bain de paraffine en fusion saupoudré de poudre de liège.

En résumé, on voit combien la Physique des fluides impose de variété aux reliefs des surfaces planétaires, même lorsque leurs conditions de formation se ressemblent.

---

(1) *Comptes rendus*, t. 143, 1906, p. 1126.
(2) *Ibid.*, t. 162, 1916, p. 639.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE. — *Recherches expérimentales sur le tétraèdre terrestre et distribution des terres et des mers.* Note de M. **Pierre-Th. Dufour**, présentée par M. Ch. Lallemand.

L'hypothèse de la déformation tétraédrique de l'écorce terrestre a reçu une confirmation dans l'expérience classique de M. Ch. Lallemand qui consiste à faire le vide dans un ballon de caoutchouc. Il se creuse à la surface du ballon quatre poches qui lui donnent une symétrie tétraédrique. Le même phénomène s'observe avec un ballon de verre ramolli par la chaleur.

On n'obtient pas à coup sûr cette déformation tétraédrique qui ne semble se réaliser que pour une parfaite homogénéité de l'écorce et une parfaite symétrie des actions extérieures. La déformation, habituelle, d'écorces moins parfaites présente une seule poche déprimée qui donne à la sphère l'apparence « d'un fourneau de pipe ». C'est en outre à des sphères creuses que se rapportent ces expériences.

Pour observer la déformation d'une écorce sphérique s'appuyant sur un noyau liquide, nous avons utilisé le dispositif expérimental suivant [1], analogue à celui de Plateau :

Des globules de paraffine liquide de 6^{mm} à 8^{mm} de diamètre sont immergés dans de l'alcool méthylique, de même densité que la paraffine, porté à une température légèrement supérieure à la température de fusion de la paraffine. En laissant refroidir le bain on assiste à la solidification du globule, parfaitement sphérique, en suspension dans l'alcool et l'on peut s'assurer que l'écorce qui se forme s'appuie bien sur un noyau central, liquide.

Dans un bain au repos qui présente toujours à sa partie inférieure de l'alcool plus froid et qui provoque, par conséquent, une solidification un peu irrégulière, le globule se déforme toujours en « fourneau de pipe », c'est-à-dire avec une seule poche. En maintenant le bain en mouvement, de façon à avoir une solidification plus régulière, on peut obtenir alors des globules à symétrie tétraédrique à faces convexes et arêtes et sommets arrondis; mais, comme dans la déformation de la balle en caoutchouc, cette déformation tétraédrique semble être un équilibre instable et ne se produisant qu'avec une parfaite symétrie des actions extérieures.

---

(1) Pierre-Th. Dufour, *Annales de l'Institut océanographique*, t. 7, fasc. 10. Paris, Masson.

Ces globules ne sont pas assez réguliers pour permettre la mesure des rayons de courbure; nous avons cherché, cependant, une construction géométrique *empirique* définissant un solide ayant même apparence que les globules en tétraèdre émoussé. Nous utilisons pour cela une circonférence de cercle qui serait déformée suivant une ligne sinueuse définie par

$$r = R + a \sin n\varphi,$$

où r = rayon vecteur; R = rayon de la circonférence primitive; a = amplitude maximum de l'ondulation; n = nombre des ondulations complètes le long de la circonférence; φ = angle du rayon vecteur avec un rayon origine.

La construction géométrique empirique de la déformation de la sphère est alors la suivante : par un point quelconque de la sphère pour lequel on cherche la dénivellation on mène, passant par les quatre sommets d'un tétraèdre régulier inscrit, quatre grands cercles déformés comme il est indiqué ci-dessus, de telle façon que le rayon vecteur d'un sommet d'une protubérance du cercle déformé coïncide avec le rayon vecteur d'un sommet du tétraèdre inscrit par lequel ce cercle est astreint à passer. Au point d'intersection de ces quatre grands cercles nous aurons quatre dénivellations partielles dont nous faisons la somme algébrique, celle-ci définit la déformation de la sphère en ce point.

En prenant pour n la valeur 3, on obtient un solide en premier degré imitant fort bien la déformation tétraédrique des globules de paraffine. Avec n égal à 9, on obtient un bossellement de la sphère en deuxième degré avec 24 protubérances, conservant la symétrie tétraédrique, et qui pourrait être provoqué par la réaction du noyau central limitant l'amplitude des dépressions.

En augmentant la valeur de n on peut faire varier dans des limites arbitraires le rapport des nombres qui expriment la surface enveloppante et le volume enveloppé. En passant de la déformation en premier degré à la déformation en second degré, certaines régions de la surface du solide qui avaient une cote positive prennent une cote négative et inversement.

Le solide en deuxième degré peut expliquer la subdivision des masses continentales, en compartiments, et celle des océans en bassins séparés par des seuils, l'origine marine d'une grande partie des terres actuelles et l'immersion d'anciens continents dans les océans.

Ces déformations tétraédriques, cependant, ne sont compatibles, d'après le résultat de nos expériences, qu'avec une homogénéité parfaite de l'écorce

et son refroidissement régulier. Mais une telle déformation qui se serait produite au début de la solidification aura nécessairement conduit à l'hétérogénéité subséquente de l'écorce terrestre. Les parties les moins denses du magma central se seront accumulées sous ces premières protubérances et auront participé par la suite à la solidification dans ces régions. M. John F. Hayford, dans ses recherches sur l'isostasie aux États-Unis, a confirmé ces variations de densité de l'écorce terrestre; elles jouent probablement un rôle prépondérant dans la distribution des terres et des mers conservant ainsi le dessin d'une déformation tétraédrique ancienne.

Dans l'état d'hétérogénéité de l'écorce terrestre et par suite du refroidissement irrégulier, la déformation produite actuellement par la contraction du noyau central semble devoir conduire, par analogie avec nos expériences, à la forme en fourneau de pipe. La grande surface occupée par l'océan Pacifique rend cette déformation fort probable.

Sur la silhouette lunaire, on a une opposition diamétrale des régions montagneuses et des régions de plaine qui feraient croire à la déformation tétraédrique. Mais comme l'ont montré MM. Puiseux et Jekhowsky (1), les variations du rayon de courbure du disque lunaire sont beaucoup plus faibles que sur la Terre. La déformation de la Lune en fourneau de pipe, axé suivant la droite joignant la Terre et la Lune, est compatible avec cette grande régularité du disque lunaire.

PHYSIQUE. — *Dilatabilité de l'argon et du néon. Pression interne dans les gaz monatomiques.* Note de M. **A. Leduc**, présentée par M. J. Violle.

Le nouvel appareil dont je me sers pour étudier la compressibilité des gaz entre 1 et 5 atmosphères diffère de celui déjà décrit (2) par d'importants perfectionnements qui le rendent propre à la détermination des coefficients de dilatation sous volume constant.

Le tube-laboratoire, formé, comme le précédent, de trois ampoules raccordées par des tubes cylindriques, a un volume total de 950^{cm^3}. Il est plongé, ainsi qu'une partie du tube manométrique, dans une cuve de $0^m,90$ de hauteur qui contient 80^l d'eau convenablement agitée au moyen d'un courant d'air réglable.

(1) *Comptes rendus*, t. 164, 1917, p. 562.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. 15, p. 62 et suiv.

La température de cette eau ayant été abaissée jusque vers 5° ou 10°, un aide attentif la maintient constante à 0°,01 près par affusion d'eau glacée. Elle peut aussi être maintenue constante aux environs de 30° au moyen de lampes à incandescence convenablement distribuées dans le bain et alimentées par un courant dûment surveillé.

La dilatabilité du verre a été déterminée sur place par la méthode du thermomètre à poids.

Les températures, lues sur des thermomètres de Baudin, sont ramenées à l'échelle du thermomètre à hydrogène. L'étude du tube-laboratoire, la détermination des volumes et des pressions se font suivant les méthodes déjà décrites, et les niveaux du mercure sont repérés au moyen d'excellents cathétomètres construits suivant mes indications par M. Pellin.

Les seuls coefficients déterminés jusqu'ici sont les suivants :

Néon, entre 5°,47 et 29°,07 : 3664.10^{-6}.

Argon, entre 11°,95 et 31°,87 : 3669.10^{-6}.

Je les considère comme approchés à moins de 2.10^{-6} près. Mais cette précision est encore insuffisante, comme on va le voir, en ce qui concerne l'objet principal de cette recherche, qui est la comparaison des pressions internes dans les gaz monatomiques.

Admettons provisoirement l'exactitude de la dernière décimale. On sait que les coefficients $\beta = \frac{1}{p_0}\frac{dp}{dT}$ de l'hydrogène et de l'azote par exemple, ont très sensiblement la même valeur à 0° qu'à 20°, la variation ne portant que sur le cinquième chiffre. On peut donc admettre pour coefficients vrais à 0° de l'argon et du néon les coefficients moyens ci-dessus. Dès lors, si nous admettons pour température absolue de la glace fondante 273°,07 (et par conséquent 3662.10^{-6} pour coefficient du gaz parfait fictif), les pressions internes de nos deux gaz dans les conditions normales sont respectivement égales à

$$273,07 \times 3664.10^{-6} - 1 = 53.10^{-5} \text{ atm},$$

et

$$273,07 \times 3669.10^{-6} - 1 = 190.10^{-5} \text{ atm}.$$

Le rapport (3,6) de ces deux nombres est aussi peu éloigné qu'on pouvait l'espérer du rapport des carrés des masses moléculaires (3,98).

Ce résultat serait déjà très intéressant, s'il pouvait être donné comme certain. Malheureusement, il est fortement modifié si l'on prend pour température absolue de la glace fondante 273°, ou si l'on ajoute ou retranche une unité au quatrième chiffre du coefficient du néon. Comme il ne m'est

pas possible jusqu'ici de garantir ce chiffre, je suis obligé de faire des réserves relativement à la conclusion qui semble en vue.

Le cas est particulièrement épineux parce que le coefficient du néon est très voisin de celui du gaz parfait. La difficulté est encore plus grande avec l'hélium, de sorte qu'il y a peu de chances de résoudre directement la question.

Mais la réciproque nous apporte néanmoins un petit appoint à la justification de cette hypothèse que *les pressions internes dans les gaz monatomiques sont proportionnelles aux carrés des masses moléculaires*. D'après cela, en effet, la pression interne dans l'hélium doit être 100 fois plus faible que dans l'argon, c'est-à-dire 19.10^{-6} atmosphères dans les conditions normales. On en déduit que son coefficient β est $3662,1.10^{-6}$, c'est-à-dire pratiquement égal à celui du gaz parfait, comme l'a trouvé expérimentalement Kamerlingh Onnes. Le coefficient du néon, calculé de la même manière, serait $3663,8.10^{-6}$, pratiquement confondu avec mon nombre expérimental.

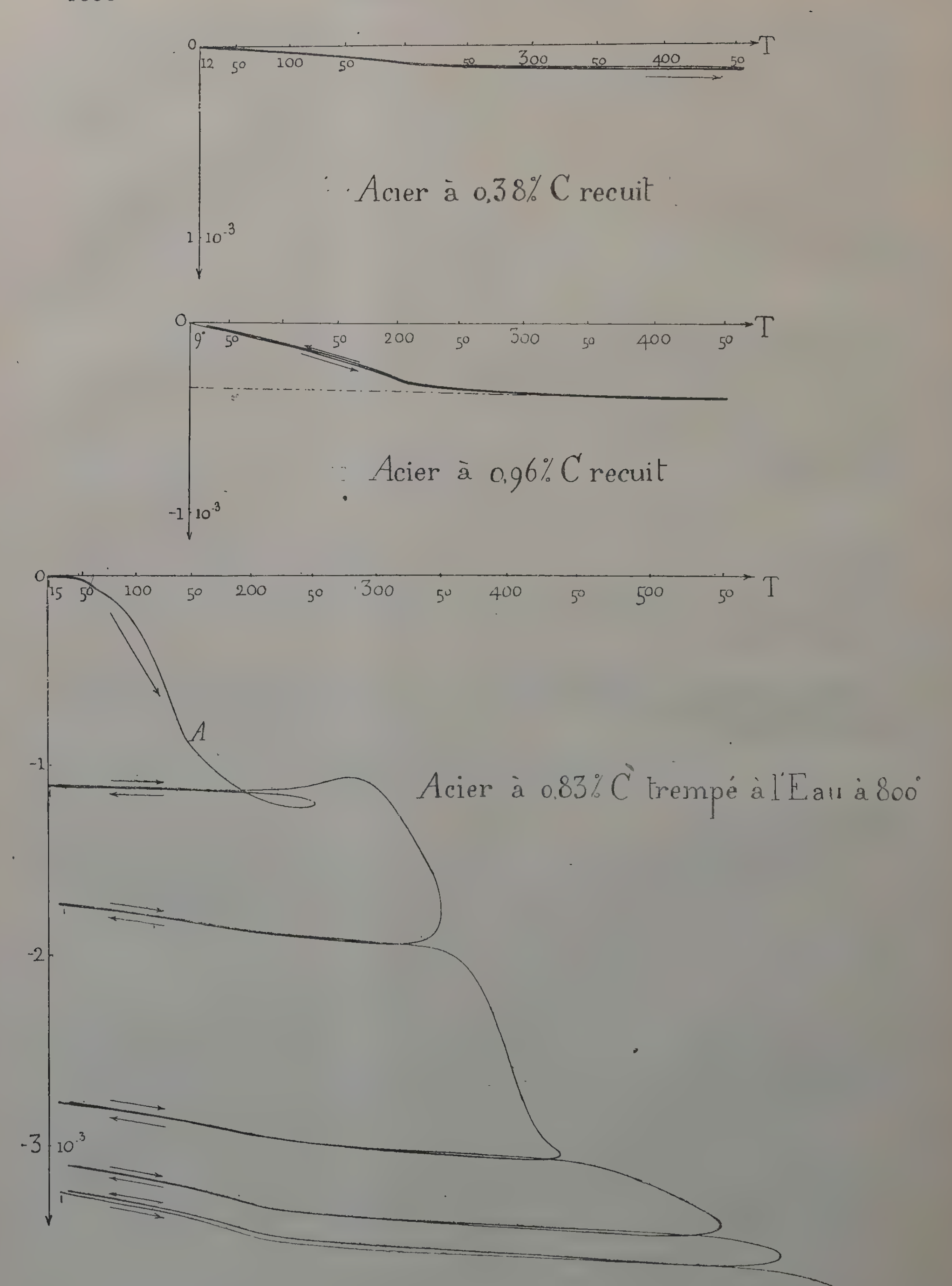
CHIMIE PHYSIQUE. — *Anomalie de la cémentite dans les aciers au carbone recuits, trempés et demi-trempés*. Note [1] de M. **P. Chevenard**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

La transformation magnétique de la cémentite des aciers au carbone, découverte par Wologdine [2], s'accompagne d'un changement de direction de la courbe de dilatation. Le dilatomètre différentiel enregistreur, décrit dans une précédente Note, se prête aisément à l'étude quantitative de cette anomalie.

Les essais ont porté sur neuf aciers très purs, préparés en fondant au four électrique du fer de Suède et des débris d'électrodes de graphite. Les éprouvettes de dilatation de 100^{mm} de longueur étaient opposées à un étalon de fer électrolytique totalement dépourvu de carbone. Les courbes différentielles obtenues mettent en relief une *anomalie de dilatation négative*, presque exactement réversible, tout à fait comparable à l'anomalie négative des ferro-nickels du groupe Fe^2Ni. Pour tous les aciers, le coude de la transformation se trouve à 210°; ce point coïncide avec la température de chute brusque de l'aimantation de la cémentite obtenue par MM. Honda

(1) Séance du 18 juin 1917.

(2) Wologdine, *Comptes rendus*, t. 148, 1909, p. 776.


0
T
12
50
100
50
50
300
50
400
50
Acier à 0,38% C recuit
1
10⁻³
0
T
9°
50
50
200
50
300
50
400
50
Acier à 0,96% C recuit
-1
10⁻³
0
T
15
50
100
50
200
50
300
50
400
50
500
50
A
-1
Acier à 0,83% C trempé à l'Eau à 800°
-2
-3
10⁻³

et Tagaki ([1]). La singularité à 210° peut encore être observée dans un acier à 0,10 pour 100 C.

Au delà de 300°, les courbes sont quasi rectilignes; l'asymptote peut être tracée avec assez de certitude, et la distance verticale de la courbe à cette droite mesure, pour chaque température, l'amplitude de l'anomalie. Dans la limite des aciers étudiés : $C = 1,30$, cette amplitude est, en première approximation, proportionnelle à la teneur en carbone; les courbes d'anomalie peuvent se déduire l'une de l'autre par amplification des ordonnées. L'amplitude à 15° a pour valeur $3,3.10^{-4}$ C (C teneur en carbone pour 100).

L'étude de l'anomalie de la cémentite peut servir à préciser l'état du carbone dans un acier après traitement et fournir ainsi un appoint à l'analyse micrographique. Cette méthode a été appliquée à un acier à 0,83 pour 100 C trempé à 800° dans l'eau froide. L'éprouvette, de 100^{mm} de longueur, était opposée à un étalon de fer électrolytique, et l'on décrivait des cycles de températures de plus en plus étendus.

La courbe de la première dilatation traduit la résultante entre l'allongement thermique normal et la contraction de revenu; cette contraction même résulte de la superposition des *variations passagère et progressive*. L'allure de cette courbe dépend donc essentiellement de la vitesse de sa description; la courbe publiée a été obtenue avec une vitesse de chauffe à peu près constante de 250° par heure.

Chaque courbe d'aller coïncide suivant un parcours notable avec la courbe de retour qui la précède immédiatement; la dilatabilité du métal, à une certaine distance de la température maxima d'un cycle, peut donc être envisagée comme une propriété caractéristique de l'état créé au cours du revenu précédent.

Dans le cas de l'acier trempé à bloc, l'anomalie de la cémentite est tout à fait insensible après recuit à 250°; elle apparaît progressivement au fur et à mesure des progrès du revenu, et atteint son amplitude définitive après chauffe à 700°. Ce résultat confirme l'identité des états *recuit* et *revenu maximum* et l'identité de constitution de la *sorbite* et de la *perlite*.

L'analyse dilatométrique a été appliquée aux aciers demi-trempés, c'est-à-dire formés de troostite et de martensite. Des baguettes d'acier à 0,83 de carbone, trempées à l'huile ou au mercure, étaient fragmentées en tronçons de 10^{mm} à 15^{mm} de longueur. Les deux faces terminales de chaque

---

([1]) K. Honda et H. Tagaki, *Journal of the Iron and Steel Institute*, 1915.

tronçon étaient polies, subissaient l'empreinte d'une bille de $1^{mm},6$, pressée par un poids de 25^{kg}, étaient enfin examinées au microscope après attaque à l'acide picrique. L'éprouvette de dilatation était formée de l'alignement de quelques-uns de ces tronçons dont l'homogénéité de constitution et de dureté avait été contrôlée.

Dans le cas d'une trempe incomplète, le dilatomètre révèle l'anomalie de la cémentite dès la première chauffe à 250°. L'amplitude du phénomène est d'autant plus faible que la proportion de martensite est plus élevée. Ce résultat permet d'envisager la *troostite* comme un complexe des phases stables à froid : ferrite et cémentite.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Nouvelle méthode de dosage des sucres aldéhydiques.* Note de M. **J. Bougault**, présentée par M. Charles Moureu.

Les sucres aldéhydiques, monoses ou bioses, et sans doute aussi ceux à poids moléculaire plus élevé, sont oxydés par le mélange (iode + carbonate de soude) en donnant l'acide monobasique correspondant. L'équation suivante exprime les rapports des substances réagissantes :

$$R.CHO + H^2O + 2I = R.CO^2H + 2HI.$$

La réaction n'est pas instantanée. La vitesse dépend de l'excès d'iode employé ; elle dépend aussi de l'alcalinité du milieu et elle est diminuée par l'addition de bicarbonate de soude.

Il est avantageux d'employer une quantité d'iode égale environ à trois fois la quantité théoriquement nécessaire à l'oxydation. Il faut en effet tenir compte de ce que tout l'iode ne concourt pas à l'oxydation du sucre, une partie est perdue à l'état d'iodate [1]. D'autre part, avec un excès d'iode suffisant, la variation du potentiel oxydant (hypoïodite) est moins considérable au cours de l'opération, circonstance utile comme nous le verrons.

Notons, en outre, que l'oxydation n'est pas limitée à l'équation ci-dessus. Il se fait simultanément une autre oxydation, d'importance minime au regard de la première, mais non négligeable cependant.

I. Un exemple de dosage, effectué avec du glucose, permettra de se rendre compte de la marche de l'oxydation et de la correction exigée par la réaction secondaire dont nous venons de parler.

---

(1) Voir ma Note précédente : *Action de l'iode sur les alcalis* (*Comptes rendus*, t. 164, 1917, p. 949).

Nous faisons le mélange suivant : 25^{cm^3} de solution contenant $0^g,2500$ de glucose, 50^{cm^3} de solution d'iode ($1^{cm^3} = 0^g,020$ d'iode) et 50^{cm^3} de solution de carbonate de soude cristallisé à 15 pour 100.

Cette solution est répartie par fractions de 25^{cm^3}, dans des flacons munis de bouchons de verre, et les titrages sont effectués au bout de 30 minutes, 60 minutes, etc., après acidulation chlorhydrique. La solution d'hyposulfite de soude employée au titrage contient environ 10^g de ce sel par litre. On trouve ainsi :

	Iode absorbé. (mg)	Différences. (mg)
Après 30 minutes.......	71,00	0,40 pour 30 minutes
» 60 »	71,40	0,70 pour 60 »
» 120 »	72,10	0,60 pour 60 »
» 180 »	72,70	

Ces chiffres montrent que l'oxydation du glucose, dans les conditions de l'expérience, est complète au bout de 30 minutes (absorption d'iode théorique, $70^{mg},56$).

I. L'absorption très faible que l'on constate ensuite est due à la réaction secondaire qui doit être attribuée à l'ensemble des fonctions alcool de la molécule. Nous verrons en effet que tous les alcools polyatomiques, même non réducteurs (saccharose, tréhalose, etc.), subissent une oxydation du même ordre.

Comme cette réaction parasite a fonctionné également pendant la première demi-heure, il faut en tenir compte par une correction appropriée. Déjà l'absorption de la deuxième demi-heure (0,4) nous donne une valeur minima de cette correction. Mais le potentiel oxydant (hypoïodite) étant nécessairement plus élevé dans les premiers moments de l'expérience, j'augmente le chiffre trouvé d'un cinquième, augmentation arbitraire, mais légitimée par les renseignements fournis par de nombreuses expériences. L'absorption d'iode attribuable au glucose est ainsi

$$71,00 - 0,48 = 70^{mg},52.$$

Convertie en glucose, elle donne pour la totalité du mélange $0^g,2498$ (au lieu de $0^g,2500$).

En utilisant la seule correction 0,4 imposée par l'expérience au lieu de la correction rectifiée, j'aurais trouvé $0^g,2502$ de glucose.

II. J'ai obtenu des résultats analogues avec tous les sucres aldéhydiques que j'ai soumis aux mêmes essais : arabinose, glucose, mannose, galactose,

lactose et maltose. Pour tous ces sucres, l'oxydation, dans les conditions décrites, est terminée en 30 minutes, sauf pour le mannose qui exige 90 minutes. D'ailleurs, cette particularité se révèle d'elle-même par l'examen des résultats des titrages successifs; l'oxydation ne devant être considérée comme terminée que lorsqu'on obtient des différences constantes.

J'ai étudié également l'action de l'iode et du carbonate de soude sur les sucres cétoniques et les sucres non réducteurs; l'influence de l'alcalinité sur la vitesse d'oxydation; l'influence de la température et de la lumière; le dosage des sucres aldéhydiques en présence des sucres cétoniques ou des sucres non réducteurs.

Les détails relatifs à toutes ces recherches ne pouvant trouver place ici seront décrits dans un autre Recueil; je me borne aux conclusions qui en résument les principaux résultats :

1° On peut doser avec une grande précision les sucres aldéhydiques en mesurant la quantité d'iode qu'ils exigent pour leur oxydation. Cette réaction est précieuse pour la détermination du poids moléculaire d'un sucre pur, ou comme critérium de pureté quand le poids moléculaire est connu.

Une réaction accessoire de peu d'importance accompagne l'oxydation aldéhydique; elle est due à une oxydation lente intéressant les fonctions alcool de la molécule. On peut en tenir compte par une correction appropriée. Cette correction a toutefois l'inconvénient d'exiger plusieurs titrages à intervalles égaux; mais on peut toujours opérer par comparaison avec un échantillon de sucre pur, auquel cas un seul dosage suffit.

2° Les sucres cétoniques se distinguent nettement des sucres aldéhydiques : ils ne sont pas oxydés sensiblement. La faible absorption d'iode constatée tient à la réaction accessoire observée également avec les sucres aldéhydiques.

On peut donc doser les sucres aldéhydiques en présence des sucres cétoniques, ce que ne permet pas le procédé à la liqueur cupro-potassique.

3° Les sucres non réducteurs (saccharose, tréhalose, etc.) se comportent comme les sucres cétoniques.

4° Dans le cas de mélanges de sucres aldéhydiques avec du saccharose ou d'autres sucres non réducteurs, la précision de la méthode dépend des proportions relatives des deux sortes de sucres. A mesure qu'augmente la proportion de sucre non réducteur, la valeur du terme de correction

augmente, et les incertitudes qui en résultent diminuent l'exactitude des résultats.

Cependant, pour des quantités de sucres aldéhydiques inférieures au millième (cas du sucre raffiné), on peut arriver à de bons résultats, en opérant par comparaison avec du saccharose pur.

5° Le principal inconvénient de la nouvelle méthode réside dans ses nombreuses incompatibilités (plus nombreuses que celles de la liqueur cupro-potassique), dues au fait que le mélange (iode + carbonate de soude) réagit sur de nombreux composés organiques.

C'est au chimiste averti d'en tenir compte lorsqu'il y a lieu.

GÉOLOGIE. — *Les anciens glaciers du Massif volcanique des Monts-Dore. Les trois périodes glaciaires sur le versant nord-ouest du Sancy.* Note [1] de M. **Ph. Glangeaud**, présentée par M. Pierre Termier.

I. Les glaciers qui s'installèrent sur le Massif des Monts-Dore dès la fin de son édification modifièrent profondément son modelé et celui de ses abords. Durant leur maximum d'extension, ils recouvrirent un territoire dont la superficie fut environ le double de celle de la région volcanique proprement dite. Julien, Michel Lévy et Munier-Chalmas distinguaient dans les Monts-Dore un glaciaire ancien et un glaciaire récent. M. Marcellin Boule pense [2] que ces géologues ont parfois confondu avec les formations glaciaires anciennes des dépôts qui ont une origine volcanique (conglomérats andésitiques, coulée boueuse de Perrier, etc.). Il conclut de ces études à l'existence d'un *glaciaire des plateaux*, *pliocène* et d'un *glaciaire des vallées, quaternaire*. L'étude d'ensemble que j'ai entreprise me permet d'établir qu'il y eut *au moins trois périodes glaciaires dans les Monts-Dore* et que la dernière offrit *plusieurs stades de retrait*.

La plus récente, d'âge *würmien*, se relie dans la haute vallée de la Dordogne et de ses affluents (La Bourboule, Saint-Sauves) et dans la vallée moyenne (Bort) à la *basse terrasse* qui présente, par places, trois paliers alluviaux de 8^m, 12^m et 20^m, comparables à ceux que j'ai signalés dans la vallée de l'Allier. Les deux autres périodes ne peuvent être vraisemblablement qu'équivalentes des périodes *rissienne* et *mindélienne*; et

---

(1) Séance du 18 juin 1917.

(2) M. Boule, *Géologie des environs d'Aurillac et nouvelles observations sur le Cantal* (*Bull. Serv. Cart. géol. Fr.*, n° 76, t. 11, 1900).

quelques rares dépôts plus anciens seraient d'âge güntzien. Les formations et la topographie rissiennes sont moins bien conservées que celles des périodes mindélienne et würmienne.

Il existe, dans la vallée de la Dordogne, des terrasses alluviales et fluvio-glaciaires qui se rattachent aux moraines rissiennes et mindéliennes. Ce sont les *terrasses de* 90^m *et de* 165^m; cette dernière, très puissante entre la Pradelle, Lanobre et Bort, avait fait l'objet d'observations de Marcou et de M. Boule. D'autres terrasses (*terrasses de* 130^m *et de* 215^m) correspondent à des *périodes interglaciaires* et le dépôt (signalé par M. Boule) qui *couronne* la coulée phonolitique de Bort et culmine la vallée de la Dordogne de 345^m représenterait, ce semble, une *moraine de surface de la période güntzienne*.

Les *quatre périodes glaciaires alpines* se retrouveraient donc dans les Monts-Dore et probablement dans les régions montagneuses similaires du Massif Central. Aux périodes mindélienne, rissienne et würmienne correspondent trois systèmes de topographies et de dépôts glaciaires : cirques, vallées, drumlins, verrous, lacs, tourbières, moraines, alluvions fluvio-glaciaires, d'une conservation plus ou moins parfaite suivant les points.

II. La *calotte de glace* qui, à la période mindélienne, s'étendait sur les Monts-Dore, principalement sur le volcan du Sancy, le plus élevé de la région (2500^m environ), n'était pas uniforme. Elle comprenait, en réalité, de *larges lobes* de 10^{km} à 25^{km} de long, coalescents, par places, surtout au Sud, mais *au-dessus desquels émergeaient* généralement (couverts incomplètement de neige et de névés) les volcans secondaires, les dômes et parfois les épaisses coulées qui accidentaient les flancs du volcan du Sancy. L'aspect de ce volcan devait alors rappeler singulièrement celui du mont Rainier (États-Unis) étudié par H.-M. Sarvent et G.-F. Evans, où l'ensemble des glaciers qui le recouvrent et irradient de son sommet dans toutes les directions, simule les bras d'une gigantesque pieuvre dont le cratère central formerait la bouche.

J'ai essayé de reconstituer la plupart de ces glaciers dont les produits de fusion étaient entraînés, à l'Ouest, dans un grand collecteur, la Dordogne de cette époque, qui commençait à s'individualiser.

III. Je prendrai comme exemple le système glaciaire qui recouvrit le secteur nord-ouest du Sancy, entre les puys de Chergue et des Chabanots, le Mont-Dore, la Tour d'Auvergne et Tauves.

a. La *période mindélienne* est représentée dans ce territoire par une série de dépôts morainiques et tourbeux (avec drumlins) convergeant vers Cliergue et les Chabanots. Le glacier submergeait une grande partie de la colline trachytique et phonolitique de Bozat (1400^m), le puy de Chambourguet et les épaisses coulées trachytiques de Charlannes et de Cherbonnières. Il creusait entre ces dernières un fossé de 400^m de large, remblayé aujourd'hui par un dépôt morainique les soudant l'une à l'autre, puis recouvrait les collines de Lachaud (1200^m et 1184^m) et venait buter contre le puy Lafont (1189^m), dont le cratère s'élevait primitivement à environ 1500^m, en abandonnant jusqu'à la partie supérieure de son piton cratérique de nombreux et énormes blocs de roches de l'amont (trachytes, trachy-andésites, trachy-phonolites, etc.).

En raison de ses dimensions, le puy Lafont, ainsi que certains de ses congénères, jouait le rôle de *verrou* et divisait la nappe de glace en deux lobes dont l'épaisseur atteignait au moins 100^m. Le lobe nord-ouest a fourni la moraine 1114, qui domine Liournat et la série des dépôts qui s'étendent au delà de Méjanesse. Le glacier devait fondre vers Fanostre (altitude 933) où l'on observe des alluvions fluvio-glaciaires, culminant la Dordogne de 200^m.

Le *lobe sud-ouest*, plus important, qui a recouvert le territoire de Ferréroles d'innombrables blocs erratiques, s'écoulait ensuite dans la direction de Tauves, où *il se soudait* à un autre lobe issu du versant nord du puy de Chambourguet, formant également verrou, vis-à-vis du glacier descendant de Cliergue.

La réunion de ces deux lobes constituait une nappe de glace submergeant tout le territoire compris entre la Tour, Saint-Pardoux (Vierge de Natzy), mont Balliard et Tauves, sur plus de 8^{km} de long et 3^{km} de large, ainsi que le prouvent les puissants dépôts morainiques couronnant les collines précitées entre les altitudes 1150 et 850. Ce glacier mindélien qui avait 14^{km} de long a laissé une très belle *moraine frontale* à Manaranches, au sud de Tauves (avec blocs de plus de 30^{m^3}), reposant à Noalhat sur une brèche trachytique, à blocs vernissés, déposée par une *nuée ardente* (1).

En aval, les dépôts glaciaires passent à un cône de *déjection fluvio-glaciaire* couvrant les collines de Ribes, Rimaudeix et Serrettes et atteignant Périssanges.

---

(1) Quelques lambeaux glaciaires ont été figurés sur la feuille d'Ussel, de la Carte géologique détaillée.

b. La *période rissienne* comprend des tourbières suspendues et plusieurs lambeaux morainiques échelonnés depuis le Capucin, la Roche Vendeix, le flanc nord de Charlannes, la partie supérieure moutonnée des collines de Chateauneuf, 901 et de Massanges. Il faut y rapporter les moraines de la Grande Scierie, le placage morainique de la Roche Vendeix, qui a joué le rôle de verrou, les dépôts des Granges, ainsi que la belle série d'alluvions fluvio-glaciaires s'étendant entre Liournat et le sud de Massanges et au milieu desquelles émergent des collines moutonnées.

c. La *glaciation würmienne* est représentée, dans la haute vallée de la Dordogne, par un *glacier principal* de 7^{km} de long, qui a laissé plusieurs moraines en retrait, depuis les environs de la Bourboule jusqu'en amont du Mont-Dore, et par plusieurs *glaciers de cirques* dont les lobes frontaux venaient fondre dans la vallée jusqu'à l'altitude 750. Parmi ces derniers, celui du Fouhet, au sud de la Bourboule, est particulièrement typique par son fond tourbeux, le verrou qui le limite au Nord, et les pentes moutonnées par sa langue jusque près du Casino de la Bourboule. Un petit glacier descendant des Granges se fusionnait avec le glacier du Fouhet. Il faut citer encore les dépôts fluvio-glaciaires de Châteauneuf et le glacier du vallon de Liournat, qui a laissé une série de buttes moutonnées jusqu'à la Dordogne, où ses dépôts se relient à la basse terrasse.

RADIOLOGIE. — *Recherches radiologiques sur l'angle d'inclinaison du cœur humain*. Note de M. **Laurent Moreau**, présentée par M. A. d'Arsonval.

Les Traités d'Anatomie fixent à l'angle d'inclinaison du cœur normal une valeur variant entre 55° et 60°.

Cet angle d'inclinaison, ouvert en bas et à gauche, est formé par la rencontre du grand axe du cœur avec la ligne médio-sternale. Ferrannini, qui l'a étudié sur le vivant au moyen des procédés d'exploration sémiologique et de sa méthode cardio-topo-mégétométrique [1], l'évalue à 60°, confirmant ainsi les résultats des recherches anatomiques. Tous les anatomistes ne sont d'ailleurs pas d'accord et donnent des chiffres tout à fait différents. D'après Testut, le grand axe du cœur fait avec l'horizontale un angle de 40°; l'angle d'inclinaison, tel que nous l'avons défini, serait donc de 50°. D'après Poirier, le grand axe se rapprocherait de l'horizontale. Ferrannini,

---

[1] A. Ferrannini, *Antropologia clinica e dislocazioni autoctone del cuore* (*Atti del IX Congresso della Soc. ital. di Médicina interna in Pisa*, ottobre 1901); *Dislocations autochtones du cœur* (*Revue de Médecine*, 1902).

d'après ses recherches séméiologiques, croit devoir distinguer des cardio-dystopies transverses et des cardio-dystopies verticales, selon que l'angle d'inclinaison est très ouver ou, au contraire, très réduit. Mais la délimitation par la percussion de l'aire cardiaque est sujette à de nombreuses erreurs. Le bord droit de l'organe est recouvert par le plastron sterno-costal, le bord gauche par une languette pulmonaire. A peine peut-on apprécier le choc de la pointe contre la paroi thoracique; encore est-il très difficile de délimiter la pointe elle-même, dont la configuration est pourtant indispensable pour tracer le grand axe du cœur.

Au contraire, par la radioscopie et l'orthodiagraphie, en promenant le rayon normal sur tout le contour de l'organe, on obtient sur la poitrine du sujet la projection fidèle du cœur, avec ses dimensions exactes.

En mesurant, au cours d'investigations radiologiques, l'angle d'inclinaison du cœur, nous pensons être arrivé à des résultats plus précis, bien que différents de ceux fournis par la clinique et l'anatomie. Nous avons examiné 100 sujets normaux, adolescents ou adultes. Pour chacun d'eux, l'image du cœur et des gros vaisseaux a été tracée par orthodiagraphie. La pointe est très facile à délimiter, malgré qu'elle soit en partie recouverte par le diaphragme, car l'expiration la découvre presque complètement. L'aire cardiaque étant obtenue, on la relève sur un calque, on tire une ligne verticale correspondant à la ligne médio-sternale, puis on mène le grand axe du cœur. Ce grand axe n'est autre que la bissectrice de l'angle formé par la pointe; il coupe la ligne médio-sternale et aboutit en un point plus ou moins élevé du bord droit du cœur. Le point d'union de la veine cave supérieure et de l'oreillette droite nous semble sur ce bord trop imprécis et trop difficile à déterminer pour qu'on puisse s'en servir dans le tracé du grand axe. Ce dernier obtenu, il est facile de mesurer l'angle formé par lui et la ligne médio-sternale; cet angle, ouvert en bas et à gauche, est l'angle d'inclinaison du cœur.

Les mensurations de nos 100 cas se répartissent de la façon suivante :

Angle d'inclinaison.	Cas.
45° à 50°	4
50 à 60	8
60 à 70	43 (1)
70 à 80	41
80 à 90	4

Cet angle d'inclinaison du cœur, quoique très variable suivant les indi-

(1) Dont 32 au-dessus de 65°.

vidus, oscille dans 74 pour 100 des cas entre 65° et 78°, chiffres bien supérieurs à ceux indiqués par l'anatomie et la clinique. Sa plus faible valeur est de 45°; sa plus forte, de 83° (cardio-dystopie verticale et cardiodystopie transverse de Ferrannini, qui a trop de tendance, selon nous, à considérer ces deux extrêmes comme des entités pathologiques).

Chez le même sujet, cet angle varie très peu avec les mouvements respiratoires, la pointe du cœur ne subissant que de faibles déplacements. Bien que le diaphragme gauche ait une amplitude plus grande que le diaphragme droit, que la pointe du cœur soit libre, alors que la base est fixée par les veines caves, cette pointe est à peine abaissée pendant l'inspiration, remontée pendant l'expiration. Toutefois, nous avons noté dans certains cas d'amplitude diaphragmatique considérable, une augmentation de l'angle d'inclinaison par ascension de la pointe pendant l'expiration forcée. Dans l'un d'eux, où la pointe était remontée de quatre travers de doigt, l'angle d'inclinaison était passé de 71° à 80°; dans un autre, de 58° à 75°. A la fin de l'expiration, le cœur s'étalait, agrandissant son diamètre longitudinal, l'oreillette droite dépassant fortement la ligne parasternale. Mais ces cas sont exceptionnels et témoignent d'une hypotonie particulière du myocarde.

Quelques états pathologiques donnent lieu à des variations intéressantes de l'angle d'inclinaison cardiaque, qu'on peut fixer normalement à environ 68°. Dans les ectasies et les dilatations aortiques, nous n'avons noté aucune modification de sa valeur. Par contre, dans les hypertrophies du ventricule gauche, cette valeur tend à s'accroître. Dans les états prétuberculeux, où le cœur est petit et l'aorte allongée, l'angle a une ouverture inférieure à la normale. L'obésité ou simplement le développement exagéré de l'abdomen, par la tension intra-abdominale qui les accompagne, tendent à diminuer l'obliquité du cœur et, par conséquent, à augmenter l'angle d'inclinaison. Dans les ptoses viscérales (hépatoptoses, gastroptoses, etc.), le cœur peut être également ptosé, mais la variation de l'angle d'inclinaison nous a paru plus rare. L'augmentation de volume du foie ne modifie pas non plus sensiblement cet angle, à cause de la fixité de la base du cœur. Du côté opposé, le développement anormal de la chambre à air gastrique par aérophagie ne déplace pas notablement la pointe, l'ampliation de la cavité se faisant surtout en arrière.

ZOOLOGIE. — *Sur l'évolution du* Maupasina Weissi *Seurat* (Heterakidæ). Note [1] de M. L.-G. Seurat, présentée par M. Edmond Perrier.

La présence à peu près constante dans le cæcum du Macroscélide (*Elephantulus deserti* Thomas), à côté de nombreux individus adultes des deux sexes, de larves à divers stades nous permet de tracer l'évolution de ce Nématode parasite.

1° L'œuf fécondé, encore privé de coque et simplement entouré de la membrane vitelline, est régulièrement ovoïde; il mesure 84$^{\mu}$ de diamètre maximum et 64$^{\mu}$ de diamètre transversal : ces œufs se trouvent en petit nombre dans la région distale, attenante à l'oviducte, des utérus;

2° L'œuf en voie de segmentation mesure 115$^{\mu}$ de longueur sur 88$^{\mu}$ de largeur et est protégé par une coque très épaisse (10$^{\mu}$) très élastique formée d'une assise externe mince et d'une assise interne épaisse, découpée en une soixantaine de petites plaques polygonales, hexagonales et pentagonales, de 20$^{\mu}$ de largeur, formant mosaïque.

La coque des œufs *larvés* renfermés dans les utérus est plus petite, lisse et ne présente plus l'aspect en mosaïque : à ce stade l'œuf mesure 100$^{\mu}$ de longueur sur 75$^{\mu}$ de diamètre transversal.

3° Les œufs parvenus dans l'ovéjecteur et en particulier ceux qui sont alignés dans la trompe n'atteignent plus que 77$^{\mu}$ de diamètre maximum sur 67$^{\mu}$ de largeur et leur coque, transparente, a une épaisseur de 5$^{\mu}$; ils sont régulièrement ovoïdes, subsphériques.

4° Enfin, ceux qui sont libres, soit dans le cæcum soit au dehors, ont une couleur brun clair, due à l'apposition d'un vernis sécrété par des glandes unicellulaires logées dans la tunique musculaire de l'ovéjecteur cuticulaire [2].

L'œuf mûr, placé dans l'eau sur lame creuse, a donné, 24 heures plus tard (juillet), une larve de 400$^{\mu}$ de longueur, à queue obtuse, arrondie à l'extrémité, mesurant 70$^{\mu}$; cette larve est ornée, de chaque côté, d'une membrane latérale très nette et présente deux glandes très réfringentes dans la région œsophagienne. La larve du premier stade, enfermée dans l'œuf, présente en outre un aiguillon perforant sur la lèvre supérieure.

---

(1) Séance du 18 juin 1917.

(2) Nous avons précédemment insisté (1912) sur le séjour des œufs dans le vagin et la sécrétion d'un vernis cuticulaire protégeant leur coque, à propos du *Thelandros alatus* Wedl.

Larve enkystée du second stade. — Les plus jeunes larves observées dans les viscères du Macroscélide sont des larves du second stade, enkystées, mesurant $2^{mm},7$ à $3^{mm},4$ de longueur. Le corps, transparent, plus épais dans la moitié antérieure, est régulièrement atténué dans la moitié postérieure et terminé par une queue conique, pointue, relativement allongée.

La région céphalique porte deux paires de grosses papilles ; le pore excréteur est situé en avant du bulbe œsophagien. La queue présente, vers le milieu de sa longueur, les deux pores caudaux latéraux et une glande caudale terminale. La cuticule est ornée, le long des aires latérales, de deux ailes prenant naissance immédiatement au delà des papilles céphaliques et s'étendant sur toute la longueur du corps, au delà de l'anus, jusqu'à une distance de 35^{μ} de la pointe caudale.

La cavité buccale, très courte, est entièrement occupée par trois dents semi-circulaires qui bordent l'entrée du pharynx. L'œsophage, beaucoup plus allongé que chez l'adulte ($\frac{1,3}{5}$ à $\frac{1}{7}$ de la longueur du corps), légèrement renflé en massue dans sa région terminale, est entouré en son milieu par l'anneau nerveux et relié au bulbe à clapets par un col plus étroit, de 35^{μ} de longueur.

En traitant la préparation par l'acide acétique : les deux cuticules, externe (2e stade) et interne (3e stade) se séparent alors très nettement, surtout dans la région postérieure du corps. Cette larve enkystée après une mue passe au troisième stade [1]. Les larves du troisième stade sont incolores, celles du quatrième ont déjà la couleur sanguinolente de l'adulte. La taille des larves du troisième stade oscille entre $3^{mm},8$ et $7^{mm},4$ [2] ; elles diffèrent de celles du précédent stade par la forme de la queue, conique et terminée par un petit mucron, par la longueur relative plus faible de celle-ci et surtout par l'absence d'ailes latérales.

Leur cavité buccale est profonde et divisée en deux étages, l'étage inférieur étant occupé par trois dents triangulaires simples.

Le développement des organes génitaux est déjà très avancé ; chez la larve

---

(1) L'existence de ces larves *enkystées* du second stade dans le cæcum du Macroscélide montre que le développement est direct, conclusion à laquelle on arrive d'autre part par la considération de la richesse des œufs en vitellus ; chez les formes hétéroxènes, l'œuf est pauvre en vitellus et le passage dans l'hôte définitif a lieu à l'état de larve *encapsulée* du troisième stade.

(2) La taille de la larve n'est pas fonction absolue de son degré d'évolution ; les larves du troisième stade peuvent, chez certains individus, être plus grandes que celles du quatrième et même que les formes adultes jeunes d'autres individus.

femelle, notamment, on observe à peu de distance (120^{μ}) en avant de l'anus l'orifice de la vulve caché sous la cuticule; la région prévulvaire est d'ailleurs régulièrement atténuée et ne montre pas l'étranglement si caractéristique des stades ultérieurs.

La larve du quatrième stade se distingue immédiatement à sa couleur sanguinolente; la cuticule ne présente pas d'ailes latérales, mais seulement les deux paires de papilles céphaliques et les deux papilles postcervicales latérales. L'étage inférieur de la cavité buccale est occupé par trois dents trilobées et présente ainsi les mêmes caractères que chez l'adulte.

La région postérieure du corps de la larve mâle est régulièrement atténuée et terminée par une queue mucronée; les pores caudaux s'ouvrent latéralement au milieu de la longueur de celle-ci. Chez la larve âgée on observe, par transparence à travers la cuticule, les papilles génitales, encore sessiles; les ailes caudales et le renflement vésiculeux précloacal de l'adulte ne sont pas encore formés. La larve femelle est caractérisée par le brusque étranglement du corps immédiatement en avant de la vulve; l'ovéjecteur existe avec sa conformation définitive.

La taille de la larve, au moment de la quatrième mue, est variable : une jeune femelle fécondée depuis peu, encore privée de ceinture, mesure $11^{mm},220$; la région initiale de l'ovéjecteur est occupée par un bouchon copulatoire, sorte de mastic brun clair, et les spermatozoïdes sont accumulés dans la région distale, distendue, des utérus; d'autre part, une femelle, fécondée depuis longtemps et pourvue de l'anneau vulvaire dont nous avons indiqué (1913) le mode de formation, n'atteint que $8^{mm},6$.

L'adulte, après cette dernière mue, subit une élongation considérable, la taille de la femelle oscillant, en effet, entre $8^{mm},5$ et 25^{mm}, celle du mâle entre 5^{mm} et 16^{mm}.

MÉDECINE. — *Sur la vaccination active de l'homme contre le tétanos.* Note de MM. **H. Vallée** et **L. Bazy**, présentée par M. E. Roux.

Les circonstances de la présente guerre ont modifié maintes notions considérées comme définitivement acquises en chirurgie. C'est ainsi qu'évoluent nos connaissances relatives à l'éclosion du tétanos. De *passagère* qu'elle était, la menace de cette redoutable complication des traumatismes devient en certains cas *permanente*. Durant des semaines le chirurgien redoute parfois aujourd'hui, pour son blessé, l'évolution d'un tétanos tardif et imprévu.

Une telle transformation dans les conditions étiologiques du tétanos

appelle une modification parallèle des moyens propres à le prévenir. Au danger *transitoire* que représente d'ordinaire l'intoxication tétanique, il convient d'opposer les effets immédiats, mais sans longue durée, de la *sérothérapie* antitétanique. A la menace *permanente* d'une infection toujours pendante, on portera remède par une *vaccination* appropriée, dont les effets utiles seront durables.

Jusqu'ici, à notre connaissance, la sérothérapie antitétanique a seule été utilisée dans la prévention du tétanos en toutes circonstances. Rien, à notre avis, n'est préférable à cette pratique. Les réinjections successives permettent d'ailleurs de renouveler ou de renforcer la résistance conférée par le sérum, lorsque celle-ci, par élimination des substances protectrices, vient à faiblir.

Le problème se pose, cependant, de l'efficacité *certaine* de cette pratique. D'origine hétérologue, le sérum antitétanique est, à mesure que se multiplient les réinjections, de moins en moins bien *utilisé* par l'organisme humain. Les constatations de Dehne et Hamburger [1], celles aussi, encore inédites, de l'un de nous, l'établissent d'évidente façon.

Nous avons donc estimé qu'au cas où le blessé doit être longuement maintenu en état de défense contre le tétanos, la pratique de la vaccination active à l'égard de cette infection doit être substituée à celle des réinjections sériques qui ne confèrent qu'une immunité passive de plus en plus incertaine.

La vaccination active contre le tétanos a fait l'objet, de la part de Roux et Vaillard, de recherches partout considérées comme classiques et le bactériologue est aujourd'hui maître de la conduire à son gré.

On sait ainsi que l'iode exerce sur le poison tétanique une action neutralisante définitive, qui le transforme en un complexe de constitution nouvelle, neutre pour l'organisme et vaccinant aussi. A la faveur des toxines iodées, la vaccination d'espèces aussi sensibles que le lapin et le cheval peut être conduite rapidement à bien.

C'est à cette technique, d'une incomparable sécurité, que nous avons eu recours pour la vaccination de l'homme.

Comme toxine, nous avons utilisé un poison tétanique, mis aimablement à notre disposition par M. Ramon de l'Institut Pasteur, actif sur le cobaye

---

(1) DEHNE et HAMBURGER, *Wiener Klinis. Wochenschrift*, t. 17, 1904, p. 807, et t. 20, 1907, p. 817.

au dix-millième de centimètre cube. La solution iodée neutralisante employée titre 1^g d'iode et 2^g d'iodure de potassium pour 200^{cm^3} d'eau.

L'utilisation des toxines iodées nous paraît supérieure, à titre vaccinal, à l'emploi des mélanges toxine-sérum antitoxique, d'un titrage beaucoup plus complexe en ce qu'il doit porter sur l'activité des deux constituants du mélange.

Après tous contrôles désirables sur le cobaye et le lapin, sept blessés ont été soumis à la vaccination. Tous de race noire, ceux-ci présentaient, outre des traumatismes divers et graves, des gelures étendues et profondes des pieds, des fractures du membre inférieur, sources permanentes de complications tétaniques d'autant plus redoutables ici que ces sujets avaient été blessés en une zone du front reconnue, par ailleurs, certainement tétanigène. Trois vaccinations successives à 5 jours d'intervalle ont été effectuées chez chacun d'eux, à la faveur des mélanges suivants :

Première vaccination...	1^{cm^3}	d'un mélange $\frac{2}{3}$ toxine, $\frac{1}{3}$ solution iodée.
Deuxième vaccination..	2	du même mélange.
Troisième vaccination..	5	de toxine mélangés à 2^{cm^3} de solution iodée.

La saturation de la toxine par l'iode étant instantanée, le mélange est réalisé au moment même de l'emploi.

Les injections ont été indolores ; aucun incident ni local, ni général, ne les a accompagnées. Actuellement, un mois après le traitement, les blessés sont toujours indemnes. Le titrage du sérum de deux d'entre eux a montré que 1^{cm^3} de celui-ci contenait 10 unités antitoxiques.

Nous avons conduit, parallèlement à la vaccination de l'homme, celle de séries de lapins injectés avec le même vaccin, les uns à la dose utilisée chez nos blessés, les autres avec un trentième de celle-ci, correspondant au rapport du poids de nos sujets à celui des lapins utilisés.

Dix jours après la dernière vaccination, l'épreuve de la valeur de l'immunité conférée a été satisfaite à la faveur d'une toxine tétanique extrêmement active, capable de tuer, au dix-millième de centimètre cube, un cobaye de 400^g.

Nous avons ainsi constaté que nos lapins vaccinés à l'aide de la dose totale résistent à une quantité de toxine capable de tuer 2000^{kg} de substance vivante. Le contrôle n'a pas été poussé au delà de cette épreuve déjà si sévère.

Les lapins vaccinés avec le trentième de la dose de vaccin employé chez

l'homme résistent régulièrement à une épreuve susceptible de tuer 200^{kg} d'animal.

On sait que la toxine tétanique se comporte de façon identique que, proportionnellement au poids, sur les animaux des diverses espèces et l'on ne peut dès lors que conclure de la résistance démontrée du lapin à celle du blessé vacciné.

Il reste à rechercher la durée de la résistance conférée que toutes notions, acquises sur diverses espèces, indiquent devoir être suffisante à une protection efficace et prolongée. Ce point fait l'objet de nos recherches actuelles.

La valeur de l'immunisation active n'étant complète que vers le dixième ou le douzième jour qui suit la dernière vaccination, nous considérons qu'il est indispensable de recourir dès la blessure à la pratique de la sérumisation chez tout blessé menacé du tétanos, la vaccination ne devant être mise en œuvre que dans les cas de menace tétanique permanente et entreprise, au plus tôt, le cinquième jour qui suit l'injection sérique.

M. **Michel Stephanidès** adresse une Note intitulée : *Un essai de la couleur du vin par l'eau potable.*

A 16 heures et demie l'Académie se forme en comité secret.

La séance est levée à 17 heures et demie.

A. Lx.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

Ouvrages reçus dans les séances de mars 1917 (*suite et fin*).

Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. 2e partie : eaux et améliorations agricoles. Service des grandes forces hydrauliques (région des Alpes); *Compte rendu et résultats des études et travaux au 31 décembre* 1915; t. VII, 1916. 1 vol. in-8°, avec un carton annexe contenant les *cartes et nivellements*.

La motoculture, par le capitaine Julien. Paris, rue Auguste-Comte, n° 7, sans date; 1 vol. in-12.

Une formule de rémunération du personnel industriel et commercial, par Camille Cavallier. Nancy, Rigot, 1917; 1 fasc.

Annuaire astronomique et météorologique pour 1917, par Camille Flammarion. Paris, Ernest Flammarion, 1917; 1 vol. in-12.

Anuario del Observatorio astronomico nacional de Tacubaya para el año de 1917, par Joaquin Gallo. Mexico, Secretaria de Fomento, 1916; 1 vol. in-12.

Catalogo astrographico, 1900, *Seccion del Observatorio astronomico de Tacubaya, Mexico, de* — 9° *a* — 17°; t. I. Mexico, Secretaria de Fomento, 1916; 1 fasc. in-folio.

Sui mezzi di salvataggio dei naufraghi con speciale riguardo al freddo, par Ippolito Sterzi. Roma, Officina poligrafica italiana, 1917; 1 fasc.

Ufficio idrografico del r. magistrato alle acque, Venezia. *Catalogo alfabetico della biblioteca dalla lettera* D *alla lettera* G *compresa*. Venezia, Carlo Ferrari, 1916; 1 fasc.

Catalogo astrografico 1900,0, *Sezione vaticana, decl. da* + 55° *a* + 65° *sopra fotografie eseguite e misurate all Osservatorio vaticano e calcolate all' Osservatorio di Oxford*. Vol. II : *Coordinate rettilinee e diametri di immagini stellari su lastre il cui centro è in declinazione* + 63°. Roma, Tipografia poliglotta vaticana, 1915; 1 fasc. in-4°.

Società reale di Napoli. *Atti della reale Accademia delle scienze fisiche e matematiche;* serie seconda, t. XVI. Napoli, 1916; 1 vol. in-4°.

The danish Ingolf-Expedition; t. V, part 6 : *Hjalmar broch : Hydroida*. Copenhagen, H. Hagerup, 1916; 1 fasc. in-4°.

OUVRAGES REÇUS DANS LES SÉANCES D'AVRIL 1917.

Service du nivellement général de la France. *Nivellement des vallées des Alpes et relevé des profils en long des cours d'eau;* notice rédigée par MM. CH. LALLEMAND et E. PRÉVOT. Paris, 1916, extrait des Comptes rendus des études du service des grandes forces hydrauliques de la région du sud-est, publiés par le Ministère de l'Agriculture; 1 fasc. in-8°. (Présenté par M. Lallemand.)

Localisation et extraction des projectiles, par L. OMBREDANNE et R. LEDOUX-LEBARD. Paris, Masson, 1917; 1 vol. in-16. (Présenté par M. d'Arsonval.)

Annuaire et mémoires du Comité d'études historiques et scientifiques de l'Afrique occidentale française, 1916. Gorée, Imprimerie du Gouvernement général, 1916; 1 vol. in-8°.

Détermination du point par les hauteurs circumzénithales correspondantes; note sur l'horizon à mercure à cuvette amalgamée, par E. PERRIN. Paris, Berger-Levrault, 1884; 1 fasc.

Détermination exacte de la latitude et du temps du lieu à l'aide d'observations au sextant par la méthode des hauteurs égales d'étoiles, par ÉDOUARD PERRIN. Paris, Gauthier-Villars, 1888; 1 fasc.

Installation d'un compas de bord pour des exercices de compensation, par E. PERRIN. Paris, Chapelot-Challamel, 1907; 1 fasc.

Nouvelles tables destinées à abréger les calculs nautiques, par le vice-amiral PERRIN. Paris, Challamel, 1916; 1 vol. in-8°.

L'œuvre scientifique de Pierre Duhem, par E. JOUGUET. Extrait de la *Revue générale des sciences*, numéro du 30 janvier 1917. Paris, Doin, 1917; 1 fasc.

Étude sur les plaies du pied et du coup-de-pied par projectiles de guerre, par E. QUÉNU. Extrait de la *Revue de Chirurgie*, numéro de juillet-août 1916. Paris, Alcan, 1917; 1 fasc. (Présenté par M. Laveran.)

L'Enseignement agricole, par E. TISSERAND. Extrait du bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, numéro de janvier-février 1917. Paris, Renouard, 1917; 1 fasc. (Présenté par l'auteur.)

(*A suivre.*)

FIN DU TOME CENT-SOIXANTE-QUATRIÈME.